FA100325 ISSN 0335-3931

normalisation française

XP P 22-311-1/A1

Novembre 1999

Indice de classement : **P 22-311-1/A1**

ICS : 91.080.10

Construction métallique

Eurocode 3 «Calcul des structures en acier» et Document d'Application Nationale — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments

Chapitre 1 : Introduction

E : Steel construction — Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-1 : General rules — General rules and rules for buildings — Chapter 1 : Introduction
D : Stahlkonstruktion — Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1 : Allgemeine Bemessungsregeln — Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau — Abschnitt 1 : Einführung

Amendement A1

à la norme expérimentale P 22-311-1, de décembre 1992, publié par AFNOR en novembre 1999.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à AFNOR avant le 1er août 2001.

Correspondance

Le présent document reproduit intégralement l'amendement A1:1994, à la prénorme européenne ENV 1993-1-1:1992 et intègre les adaptations nationales relatives à cette ENV.

Analyse

Voir avant-propos national.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : bâtiment, construction métallique, acier de construction, règle de construction, règle de calcul.

Modifications

Corrections

Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 92049 Paris La Défense Cedex
Tél. : 01 42 91 55 55 — Tél. international : + 33 1 42 91 55 55

© AFNOR 1999 — Tous droits réservés

Construction métallique BNCM CNCMET

Membres de la commission de normalisation

Président : M BROZZETTI

Secrétariat : M PESCATORE — BNCM

M	ARIBERT	INSA
M	BARAKA	CTICM
M	BARJON	SERVICE TECHNIQUE DES REMONTEES MECANIQUES
M	BAZIN	CSTB
M	BORGEOT	CTICM
M	BRAHAM	ASTRON BUILDING SYSTEMS
M	BROZZETTI	CTICM
M	CAMPAN	EUROPROFIL FRANCE
M	CHABROLIN	CTICM
M	CRETON	BNS
M	DESFERTILLES	INSTITUT DE SOUDURE
MME	DUSSAUGEY	SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES D'EQUIPEMENT
M	ESTEVE	EDF
M	ETIENNE	MELT / DAEI
MME	FERNANDEZ	AFNOR
M	GALEA	CTICM
M	GAULIARD	SYNDICAT DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE DE FRANCE
M	GOURMELON	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES
M	GREGOIRE	CETEN APAVE
M	GRIMAULT	TUBEUROP FRANCE
M	KRUPPA	CTICM
M	LAPEYRE	CEP
M	LE CHAFFOTEC	SOCOTEC
M	LE ROUX	EDF
M	MAITRE	SOCOTEC
M	MARTIN	SNCF
M	MAYERE	BUREAU VERITAS
M	MOREAU	SNPPA
M	MOUTY	
MME	PECHENARD	AFFIX
M	PERFETTI	CSNE
M	RAOUL	SETRA
M	ROCHE	SETRA
M	RYAN	CTICM
M	SOKOL	PAB
M	VOISIN	INRS

Avant-propos national à l'ENV 1993-1-1/A1

AP.1 Introduction

La présente norme expérimentale reproduit intégralement l'ENV 1993-1-1:1992/A1:1994, approuvé par le Comité Européen de Normalisation (CEN) en tant qu'amendement à la norme européenne ENV 1993-1-1:1992 et spécifie les adaptations nationales qui ont été apportées à cet amendement.

Le présent document est une norme expérimentale, dénommée en abrégé ENV 1993-1-1/A1 DAN ou Eurocode 3 partie 1-1/A1 DAN, indice de classement P 22-311-1/A1.

Sur le plan européen, l'ENV 1993-1-1/A1 modifie l'ENV 1993:1992 de la manière suivante :

— *Ajout d'une annexe normative D : utilisation des nuances d'acier S420 et S460.*

— *Remplacement de l'annexe normative K par une annexe normative K révisée : assemblages de profils creux dans les poutres à treillis.*

Sur le plan français, la présente norme expérimentale modifie la norme P 22-311 comme suit :

— *Ajout de l'annexe D et son DAN.*

— *Remplacement (avec annulation) de l'annexe K et son DAN, l'annexe KK, publiés sous l'indice de classement P 22-311-K (décembre 1992) par une nouvelle annexe K et son DAN.*

AP.2 Relation avec la norme P 22-311 de décembre 1992

a) Il y a lieu de se reporter à la norme expérimentale P 22-311-0 (ENV 1993-1-1:1992 ou Eurocode 3 partie 1-1) pour obtenir les informations générales applicables à toutes les parties et, en particulier, connaître les conventions de présentation relatives au DAN.

b) Il y a lieu également de se reporter à l'appendice de la norme expérimentale P 22-311-2 (Bases de calcul), qui fixe et récapitule les valeurs encadrées applicables à toutes les parties, sauf indication contraire dans les textes.

PRÉNORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE VORNORM
EUROPEAN PRESTANDARD

ENV 1993-1-1:1992/A1

Décembre 1994

ICS 91.040.00; 91.080.10

Descripteurs : bâtiment, construction métallique, acier de construction, règle de construction, règles de calcul.

Version française

Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-1 : Règles générales — Règles générales et règles pour les bâtiments

Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1 : Allgemeine Bemessungsregeln — Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau

Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-1 : General rules — General rules and rules for buildings

Cet amendement A1 modifie la prénorme européenne ENV 1993-1-1:1992.

La présente prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 4 juin 1993 comme norme expérimentale pour application provisoire. La période de validité de cette ENV est limitée initialement à trois ans. Après deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre leurs commentaires, en particulier sur l'éventualité de la conversion de l'ENV en norme européenne (EN).

Les membres du CEN sont tenus d'annoncer l'existence de cette ENV de la même façon que pour une EN et de rendre cette ENV rapidement disponible au niveau national sous une forme appropriée. Il est admis de maintenir (en parallèle avec l'ENV) des normes nationales en contradiction avec l'ENV en application jusqu'à la décision finale de conversion possible de l'ENV en EN.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

CEN

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization

Secrétariat Central : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

© CEN 1994 Tous droits d'exploitation sous quelque forme et de quelque manière que ce soit réservés dans le monde entier aux membres nationaux du CEN.

Réf. n° ENV 1993-1-1:1992/A1:1994 F

Sommaire

Avant-propos 3

Annexe D [normative] Utilisation des nuances d'acier S460 et S420 7
D.1 Objet 7
D.2 Sommaire 7
D.3 Matériaux 7
D.3.1 Acier de construction 7
D.3.2 Produits d'apport de soudage 8
D.4 États limites de service 10
D.5 États limites ultimes 10
D.5.1 Généralités 10
D.5.2 Flambement par flexion 10
D.5.3 Résistance à l'enfoncement local 14
D.6 Assemblages sous charges statiques 14
D.6.1 Généralités 14
D.6.2 Résistance de calcul d'une soudure d'angle 15
D.6.3 Assemblages poutre-poteau 15
D.6.4 Assemblages de profils creux dans les poutres à treillis 15
D.7 Fabrication avec des aciers selon l'EN 10113 15
D.7.1 Généralités 15
D.7.2 Formage 16
D.7.3 Coupage 17
D.7.4 Soudage 17
D.8 Conception et dimensionnement assistés par l'expérimentation 19
D.9 Fatigue 19

Annexe K [normative] Assemblages de profils creux dans les poutres en treillis 20
K.1 Généralités 20
K.1.1 Objet 20
K.1.2 Exigences générales 20
K.2 Définitions et symboles 20
K.3 Domaine d'application 26
K.4 Calcul 26
K.4.1 Généralités 26
K.4.2 Analyse 26
K.4.3 Longueurs de flambement des profils creux dans les structures triangulées 28
K.4.4 Modes de ruine pour les assemblages de profils creux 28
K.5 Soudures 34
K.5.1 Résistance de calcul 34
K.5.2 Soudage dans les zones déformées à froid 36
K.6 Noeuds soudés entre éléments en CHS 36
K.6.1 Généralités 36
K.6.2 Noeuds plans 37
K.6.3 Noeuds multiplans 44
K.7 Noeuds soudés avec barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en RHS 45
K.7.1 Généralités 45
K.7.2 Noeuds plans 46
K.7.3 Noeuds multiplans 57
K.8 Noeuds soudés avec barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en profils en I ou H 58
K.9 Assemblages boulonnés 61

Avant-propos

Objectifs des Eurocodes

(1) Les Eurocodes Structuraux comprennent un ensemble de normes élaborées en vue du calcul géotechnique et structural des bâtiments et ouvrages de génie civil.

(2) Ils ne traitent de l'exécution et du contrôle que dans la mesure où cela est nécessaire pour indiquer la qualité des produits de construction et le niveau d'exécution indispensables à la conformité avec les hypothèses des règles de calcul.

(3) Jusqu'à ce que l'ensemble des spécifications techniques harmonisées pour les produits et pour les méthodes de contrôle de leurs performances soit disponible, certains Eurocodes Structuraux couvrent certains de ces aspects dans des annexes informatives.

Historique du programme des Eurocodes

(4) La Commission des Communautés Européennes (CCE) a initié l'établissement d'un ensemble de règles techniques harmonisées pour le calcul des bâtiments et ouvrages de génie civil, qui servirait initialement d'alternative aux différentes règles en vigueur dans les différents États Membres et qui les remplacerait à terme. Ces règles techniques se sont fait connaître sous le nom d'Eurocodes Structuraux.

(5) En 1990, après consultation de ses États Membres respectifs, la CCE a transféré au CEN la charge des travaux d'élaboration, édition et mise à jour ultérieure des Eurocodes Structuraux, et le Secrétariat de l'AELE a accepté d'aider le CEN dans cette tâche.

(6) Le Comité Technique CEN/TC 250 du CEN est responsable de tous les Eurocodes Structuraux.

Programme des Eurocodes

(7) Les travaux sont en cours sur les Eurocodes Structuraux suivants, chacun d'eux comportant en général un certain nombre de parties :

EN 1991 Eurocode 1 Bases de calcul et actions exercées sur les structures;

EN 1992 Eurocode 2 Calcul des structures en béton;

EN 1993 Eurocode 3 Calcul des structures en acier;

EN 1994 Eurocode 4 Calcul des structures mixtes acier béton;

EN 1995 Eurocode 5 Calcul des structures en bois;

EN 1996 Eurocode 6 Calcul des structures en maçonnerie;

EN 1997 Eurocode 7 Calcul géotechnique;

EN 1998 Eurocode 8 Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance au séisme;

EN 1999 Eurocode 9 Calcul des structures en alliage d'aluminium.

(8) Des sous-comités distincts ont été constitués par le CEN/TC 250 pour les différents Eurocodes mentionnés ci-dessus.

(9) Le présent amendement A1 affecte la Partie 1.1 de l'Eurocode 3 qui a été publiée par le CEN en tant que Prénorme Européenne (ENV) en avril 1992 avec une durée de vie initiale de trois ans.

(10) La présente Prénorme est destinée à l'application expérimentale et à la soumission de commentaires.

(11) À l'issue d'une période de deux ans environ, les membres du CEN seront invités à soumettre des commentaires formels devant être pris en compte dans la détermination des actions futures.

(12) Dans l'intervalle, les réactions et commentaires concernant la présente prénorme doivent être transmis au Secrétariat du CEN/TC 250/SC 3 à l'adresse suivante :

BSI Standards
British Standards House
389 Chiswick High Road
London W4 4AL
England

ou à votre organisme national de normalisation.

Documents d'Application Nationale (DAN)

(13) Dans l'optique des responsabilités incombant aux autorités des pays membres en ce qui concerne la sécurité, la santé, et autres domaines couverts par les exigences essentielles de la DPC (Directive sur les Produits de Construction), certains éléments de sécurité figurant dans la présente ENV ont été affectés de valeurs indicatives figurant dans un encadré ☐ . Il appartient aux autorités de chaque État membre de revoir les valeurs encadrées, et elles ont la faculté de substituer des valeurs alternatives définitives pour ces éléments de sécurité en vue de l'application nationale.

(14) Certaines Normes d'accompagnement Européennes ou Internationales peuvent ne pas être disponibles à la date de publication de la présente Prénorme. On prévoit donc qu'un Document d'Application Nationale (DAN) donnant toutes valeurs de substitution définitives pour les éléments de sécurité, mentionnant les normes d'accompagnement compatibles et contenant des directives sur l'application nationale de la présente Prénorme, sera publié par chaque État membre ou son Organisme de Normalisation.

(15) La présente Prénorme est prévue pour être utilisée conjointement avec le DAN en vigueur dans le pays où les bâtiments ou les ouvrages de génie civil sont situés.

Objet

(16) L'objet de l'Eurocode 3 est défini à l'article 1.1.1 de l'ENV 1993-1-1. Les Parties supplémentaires de l'Eurocode 3 dont la parution est prévue sont mentionnées à l'article 1.1.3 de la Partie 1.1.

Statut

(17) Le présent amendement A1 à l'ENV 1993-1-1 comprend deux annexes distinctes, D et K, dont chacune possède un statut différent.

(18) L'Annexe D constitue un addendum au texte existant. Elle étend l'application de la Partie 1.1 à deux nuances d'acier de résistance supérieure, comme anticipé en 3.2.2.1(5).

(19) L'Annexe K du présent amendement A1 constitue une version révisée étendue. Elle remplace la version originale de l'Annexe K de l'ENV 1993-1-1 : 1992 qui est donc abrogée.

(20) En outre, le présent amendement A1 modifie le titre de la Partie 1.1 de l'ENV 1993. Celui-ci est désormais le suivant : "Partie 1.1 : Règles générales - Règles générales et règles pour les bâtiments".

Numérotations internes

(21) Le présent amendement A1 à l'ENV 1993-1-1 a été élaboré suivant les règles éditoriales actuelles du CEN, y compris les dérogations particulières agréées pour les Eurocodes Structuraux. Ces règles diffèrent de celles utilisées dans l'édition de 1992 de l'ENV 1993-1-1. L'une des modifications concerne la terminologie utilisée pour décrire les différents niveaux de subdivision, tels les sections et les articles. Ceci affecte certaines numérotations utilisées dans le présent amendement, de la façon suivante :

Exemple de numérotation	**Terme utilisé dans l'amendement A1**	**Terme utilisé dans l'édition de 1992**
1	Section	Chapitre
1.1	Article	Article

Désignations de nuances d'acier

(22) Au cours de la transition vers les Normes Européennes du CEN, on a utilisé trois différents systèmes de désignation au niveau européen, en plus de celles figurant dans les normes nationales, pour les nuances de résistance et les qualités de ténacité des aciers de construction.

(23) Pour les produits laminés à chaud fabriqués à partir d'aciers non alliés, ces désignations sont les suivantes :

Euronorm 25-72	Norme européenne EN 10025: 1990	Norme européenne EN 10025: 1993 *)
Fe360A	-	-
Fe360B	Fe360B	S235JR
Fe360C	Fe360C	S235J0
Fe360D	Fe360D	S235J2
Fe430A	-	-
Fe430B	Fe430B	S275JR
Fe430C	Fe430C	S275J0
Fe430D	Fe430D	S275J2
Fe510B	Fe510B	S355JR
Fe510C	Fe510C	S355J0
Fe510D	Fe510D	S355J2
Fe510DD	Fe510DD	S355K2

*) Ces désignations sont conformes aux EN 10027 et ECISS/IC 10.

(24) Pour les produits laminés à chaud fabriqués à partir d'aciers soudables à grain fin, les désignations correspondantes sont les suivantes :

Euronorm 113-72	Projet de Norme européenne pr EN 10113	Norme européenne EN 10113: 1993 *)
Fe E 275 KG N	Fe E 275 KG N	S275N
Fe E 275 KT N	Fe E 275 KT N	S275NL
Fe E 275 KG TM	Fe E 275 KG TM	S275M
Fe E 275 KT TM	Fe E 275 KT TM	S275ML
Fe E 355 KG N	Fe E 355 KG N	S355N
Fe E 355 KT N	Fe E 355 KT N	S355NL
Fe E 355 KG TM	Fe E 355 KG TM	S355M
Fe E 355 KT TM	Fe E 355 KT TM	S355ML
Fe E 420 KG N	Fe E 420 KG N	S420N
Fe E 420 KT N	Fe E 420 KT N	S420NL
Fe E 420 KG TM	Fe E 420 KG TM	S420M
Fe E 420 KT TM	Fe E 420 KT TM	S420ML
Fe E 460 KG N	Fe E 460 KG N	S460N
Fe E 460 KT N	Fe E 460 KT N	S460NL
Fe E 460 KG TM	Fe E 460 KG TM	S460M
Fe E 460 KT TM	Fe E 460 KT TM	S460ML

*) Ces désignations sont conformes aux EN 10027 et ECISS/IC 10.

(25) Dans l'édition de 1992 de l'ENV 1993-1-1, on a utilisé les désignations des EN 10025:1990 et pr EN 10113. Cependant, dans l'Annexe D, ajoutée par le présent amendement A1 à l'ENV 1993-1-1, on utilise les désignations actuelles conformes aux EN 10025:1993 et EN 10113:1993.

Annexe D [normative]
Utilisation des nuances d'acier S460 et S420

D.1 Objet

(1)P La présente annexe étend l'application de l'ENV 1993-1-1 aux nuances d'acier S460 et S420 de l'EN 10113 et à la nuance d'acier S460 de l'EN 10137.

D.2 Sommaire

(1)P D.3 à D.9 étendent les articles correspondants, ainsi que les annexes concernées, ainsi qu'il suit :

— D.3 Matériaux : Section 3 et Annexes B et C;

— D.4 États limites de service : Section 4;

— D.5 États limites ultimes : Section 5 et Annexes E et F;

— D.6 Assemblages sous charges statiques : Section 6 et Annexes J, K, L et M;

— D.7 Fabrication avec des aciers selon l'EN 10113 : Section 7;

— D.8 Conception et dimensionnement assistés par l'expérimentation : Section 8 et Annexe Y;

— D.9 Fatigue : Section 9.

NOTE D.7 est destiné à terme à couvrir les aciers conformes à la fois à l'EN 10113 et à l'EN 10137 mais en n'incluant que les dispositions de fabrication pertinentes pour le calcul. À ce stade de la rédaction, dans l'attente de la disponibilité de dispositions concernant les aciers à haute résistance dans l'EN 1090 "Exécution des structures en acier", D.7 contient aussi, temporairement, des dispositions concernant la fabrication des aciers selon l'EN 10113, mais ne couvre pas l'acier selon l'EN 10137. Selon toute vraisemblance, la future EN 1090 contiendra des dispositions appropriées pour les aciers conformes aux deux normes EN 10113 et EN 10137, ce qui remplacera les présentes dispositions provisoires.

(2)P Les dispositions des sections 1 et 2 s'appliquent, sans modification, aux nuances d'acier S460 et S420.

D.3 Matériaux

D.3.1 Acier de construction

(1)P Les propriétés de matériaux indiqués dans cet article sont des valeurs nominales destinées à être adoptées comme valeurs caractéristiques uniquement dans les calculs.

(2)P D'autres propriétés sont données dans les EN 10113 et EN 10137.

(3)P Les valeurs nominales de la limite d'élasticité f_y et de la résistance à la traction f_u sont indiquées dans le tableau D.1 pour les nuances d'acier S460 et S420 selon l'EN 10113 et pour la nuance d'acier S460 selon l'EN 10137.

(4)P Les valeurs nominales figurant dans le tableau D.3.1 peuvent être adoptées comme valeurs caractéristiques dans les calculs.

(5)P Comme alternative, on peut utiliser les valeurs minimales précisées dans l'EN 10113 pour une gamme d'épaisseurs supérieures.

Tableau D.1 : Valeurs nominales de limite d'élasticité f_y et de résistance à la traction f_u

Nuance d'acier selon l'EN 10113	Épaisseur t mm 1)			
	$t \leq 40$		40 mm < $t \leq$ 100 mm 2)	
	f_y (N/mm²)	f_u (N/mm²)	f_y (N/mm²)	f_u (N/mm²)
S460N	460	550	430	550
S460M	460	530	430	530
S420N	420	520	390	520
S420M	420	500	390	500

Nuance d'acier selon l'EN 10137	Épaisseur t mm 1)					
	$t \leq$ 50 mm		50 mm < $t \leq$ 100 mm		100 mm < $t \leq$ 150 mm	
	f_y (N/mm²)	f_u (N/mm²)	f_y (N/mm²)	f_u (N/mm²)	f_y (N/mm²)	f_u (N/mm²)
S460Q	460	550	440	550	400	500

1) t est l'épaisseur nominale de l'élément.

2) 40 mm < $t \leq$ 63 mm pour les plaques et autres produits plats en aciers répondant à la condition de livraison M de l'EN 10113-3.

(6)P Des valeurs similaires peuvent être adoptées pour les profils creux de construction selon les EN 10210 et EN 10219.

(7)P Le matériau doit présenter une ténacité suffisante pour éviter la rupture fragile à la température de service la plus faible susceptible d'être rencontrée au cours de la durée de vie prévue pour la structure.

(8) Dans les cas courants d'éléments soudés ou non soudés de structures de bâtiments soumis à un chargement statique ou à un chargement de fatigue (mais pas à un chargement dynamique), aucune vérification supplémentaire contre la rupture fragile n'est nécessaire si les conditions énoncées dans le tableau D.2 sont satisfaites.

(9) Pour tous les autres cas, il convient de se référer à l'Annexe C.

(10) Dans l'Annexe C, il convient de prendre la valeur de base de la limite d'élasticité la plus faible f_{y0} égale à 460 N/mm² pour la nuance d'acier S460 et à 420 N/mm² pour la nuance d'acier S420.

(11)P Lorsqu'on utilise la nuance d'acier S460 ou S420 selon l'EN 10113 ou la nuance d'acier S460 selon l'EN 10137, on peut recourir à l'analyse plastique dans l'analyse globale des structures ou de leurs éléments.

D.3.2 Produits d'apport de soudage

(1)P Tous les produits d'apport de soudage doivent respecter la Norme de Référence 4, voir Annexe B.

(2)P Les valeurs spécifiées pour la limite d'élasticité, la résistance à la traction, l'allongement à la rupture et l'énergie minimale d'essai Charpy avec entaille en V du métal d'apport doivent être égales ou supérieures aux valeurs correspondantes spécifiées pour la nuance de l'acier devant être soudé.

Tableau D.2 : Épaisseur maximale pour les éléments structuraux soumis à un chargement statique, sans référence à l'Annexe C

Nuance et qualité d'acier	Épaisseur maximale (mm) pour température de service minimale de :					
	0 °C		-10 °C		-20 °C	
Condition de service	S1	S2	S1	S2	S1	S2
EN 10113 : [1]						
S460 [2]	179	53	150	38	99	28
S460L [3]	250	150	250	101	250	69
S420 [2]	250	70	162	50	140	36
S420L [3]	250	172	250	145	250	94
EN 10137 : [4]						
S460Q	126	34	86	25	61	18
S460QL	150	86	150	61	150	44
S460QL1	150	150	150	150	150	119

Conditions de service : [5]

S1 Soit :

- non soudé, ou
- en compression.

S2 soudé, en traction.

Dans les deux cas, le présent tableau suppose un taux de chargement R1 et des conséquences de rupture de condition C2, voir Annexe C.

1) Pour les aciers d'une épaisseur supérieure à 100 mm pour la nuance S460 et d'une épaisseur supérieure à 150 mm pour la nuance S420 sous condition de livraison N de l'EN 10113-2, et pour les aciers d'une épaisseur supérieure à 150 mm pour les produits longs et d'une épaisseur supérieure à 63 mm pour les produits plats sous condition de livraison M de l'EN 10113-3, l'énergie minimale Charpy V spécifiée dans l'EN 10113 est soumise à approbation. Une valeur minimale de 27 J est exigée jusqu'à une épaisseur de 150 mm, et une valeur de 23 J pour les épaisseurs comprises entre 150 mm et 250 mm. Il convient de prendre une température d'essai de –30 °C pour les aciers de qualité S460 et S420, et de –50 °C pour les aciers de qualité S460L et S420L.

2) Pour les aciers de qualité S460 et S420, les valeurs minimales d'énergie Charpy V spécifiées dans l'EN 10113 ne vont que jusqu'à 40 J à –20 °C. Les valeurs de cette ligne prennent pour hypothèse une valeur équivalente de 27 J à –30 °C.

3) Pour les aciers de qualité S 460 L et S 420 L, la valeur minimale d'énergie Charpy V spécifiée dans l'EN 10113 est de 27 J à -50°C.

4) Dans l'EN 10137-2, l'épaisseur maximale spécifiée pour les aciers trempés et revenus est de 150 mm. La valeur minimale spécifiée d'énergie Charpy V est de 30 J dans le sens longitudinal, et de 27 J dans le sens transversal à des températures d'essai de –20 °C, -40 °C et -60 °C pour les qualités Q, QL et QL1 respectivement. Les valeurs de ce tableau sont basées sur 27 J à la température respective pour chaque qualité.

5) Pour les détails complets des conditions de service, se référer à l'Annexe C.

D.4 États limites de service

(1)P Les exigences d'états limites de service énoncées aux sections 2 et 4 s'appliquent également aux structures fabriquées en nuances d'acier S460 et S420.

(2) Les recommandations mentionnées dans les règles d'application de la section 4 sont également valables pour les nuances d'acier S460 et S420.

D.5 États limites ultimes

D.5.1 Généralités

(1)P Les dispositions mentionnées à la section 5 s'appliquent également aux nuances d'acier S460 et S420 sauf lorsque des dispositions particulières sont données en D.5.2 ou D.5.3.

D.5.2 Flambement par flexion

(1)P En ce qui concerne le flambement par flexion, la courbe de flambement appropriée pour les nuances d'acier S460 et S420 doit être déterminée à partir du tableau D.3.

(2)P Les sections ne figurant pas dans ces tableaux doivent être classées par analogie.

(3)P Le facteur d'imperfection α correspondant à la courbe de flambement appropriée doit être pris d'après le tableau D.4.

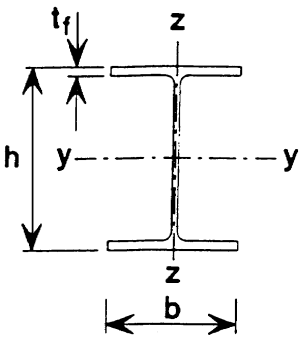
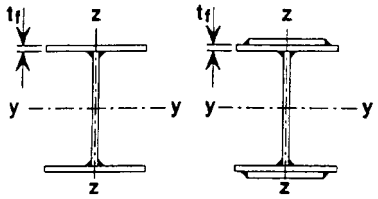
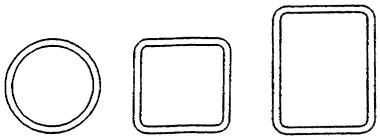
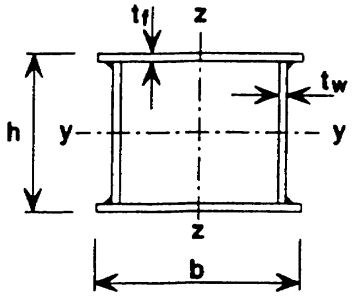
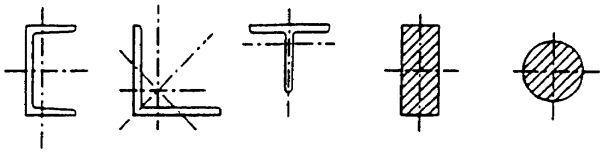
Tableau D.4 : Facteurs d'imperfection

Courbe de flambement	a_0	a	b	c	d
Facteur d'imperfection α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

(4)P Les valeurs du coefficient de réduction χ pour l'élancement réduit approprié $\bar{\lambda}$ peuvent être prises d'après le tableau D.5.

(5)P Les éléments en fuseau, ainsi que les éléments comportant des variations de section transversale sur leur longueur, peuvent être vérifiés en utilisant une analyse au second ordre, en incorporant la valeur de calcul appropriée de l'imperfection initiale équivalente en arc $e_{0,d}$ indiquée sur la figure D.1 correspondant à la courbe de flambement appropriée, en fonction de la méthode d'analyse et du type de vérification de section transversale.

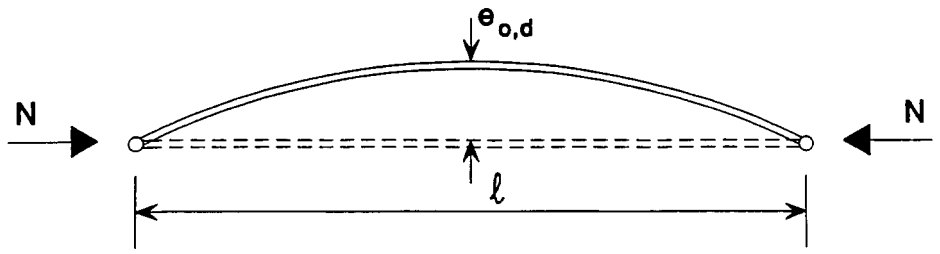
Tableau D.3 : Choix d'une courbe de flambement pour une section transversale

Section transversale	Limites	Axe de Flambement	S460	S420
Sections en I laminés 	$h/b > 1{,}2$:			
	$t_f \leq 40$ mm	y - y z - z	a_0 a_0	a a
	40 mm < $t_f \leq 100$ mm	y - y z - z	a a	b b
	$h/b \leq 1{,}2$:			
	$t_f \leq 100$ mm	y - y z - z	a a	b b
	$t_f > 100$ mm	y - y z - z	c c	d d
Sections en I soudés 	$t_f \leq 40$ mm	y - y z - z	b c	b c
	$t_f > 40$ mm	y - y z - z	c d	c d
Sections creuses 	finis à chaud	quel qu'il soit	a	a
	formés à froid - avec f_{yb} 1)	quel qu'il soit	b	b
	formés à froid - avec f_{ya} 1)	quel qu'il soit	c	c
Caissons soudés 	en général (sauf ci-dessous)	quel qu'il soit	b	b
	Soudures épaisses et : $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	y - y z - z	c c	c c
Sections en U, L, T et sections pleines 		quel qu'il soit	c	c

1) Voir 5.5.1.4(4) et figure 5.5.2.

Tableau D.5 : Coefficients de réduction

$\bar{\lambda}$	χ pour courbe de flambement :				
	a_0	a	b	c	d
0.2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.3	0.9859	0.9775	0.9641	0.9491	0.9235
0.4	0.9701	0.9528	0.9261	0.8973	0.8504
0.5	0.9513	0.9243	0.8842	0.8430	0.7793
0.6	0.9276	0.8900	0.8371	0.7854	0.7100
0.7	0.8961	0.8477	0.7837	0.7247	0.6431
0.8	0.8533	0.7957	0.7245	0.6622	0.5797
0.9	0.7961	0.7339	0.6612	0.5998	0.5208
1.0	0.7253	0.6656	0.5970	0.5399	0.4671
1.1	0.6482	0.5960	0.5352	0.4842	0.4189
1.2	0.5732	0.5300	0.4781	0.4338	0.3762
1.3	0.5053	0.4703	0.4269	0.3888	0.3385
1.4	0.4461	0.4179	0.3817	0.3492	0.3055
1.5	0.3953	0.3724	0.3422	0.3145	0.2766
1.6	0.3520	0.3332	0.3079	0.2842	0.2512
1.7	0.3150	0.2994	0.2781	0.2577	0.2289
1.8	0.2833	0.2702	0.2521	0.2345	0.2093
1.9	0.2559	0.2449	0.2294	0.2141	0.1920
2.0	0.2323	0.2229	0.2095	0.1962	0.1766
2.1	0.2117	0.2036	0.1920	0.1803	0.1630
2.2	0.1937	0.1867	0.1765	0.1662	0.1508
2.3	0.1779	0.1717	0.1628	0.1537	0.1399
2.4	0.1639	0.1585	0.1506	0.1425	0.1302
2.5	0.1515	0.1467	0.1397	0.1325	0.1214
2.6	0.1404	0.1362	0.1299	0.1234	0.1134
2.7	0.1305	0.1267	0.1211	0.1153	0.1062
2.8	0.1216	0.1182	0.1132	0.1079	0.0997
2.9	0.1136	0.1105	0.1060	0.1012	0.0937
3.0	0.1063	0.1036	0.0994	0.0951	0.0882



Section transversale		Méthode d'analyse globale	
Méthode utilisée pour vérifier la résistance	Type de section et axe	Élastique ou Rigide-plastique ou Élastique parfaitement Plastique	Élasto-plastique (méthode des zones plastiques)
Élastique [5.4.8.2]	Quelconque	$\alpha\,(\bar{\lambda} - 0{,}2)\,k_\gamma\,W_{el}\,/\,A$	-
Plastique linéaire [5.4.8.1(12)]	Quelconque	$\alpha\,(\bar{\lambda} - 0{,}2)\,k_\gamma\,W_{pl}\,/\,A$	-
Plastique non-linéaire [5.4.8.1(1) à (11)]	Section en I - axe yy	$1{,}33\,\alpha\,(\bar{\lambda} - 0{,}2)\,k_\gamma\,W_{pl}\,/\,A$	$\alpha\,(\bar{\lambda} - 0{,}2)\,k_\gamma\,W_{pl}\,/\,A$
	Section en I - axe zz	$2{,}0\,k_\gamma\,e_{eff}\,/\,\varepsilon$	$k_\gamma\,e_{eff}\,/\,\varepsilon$
	Section creuse rectangulaire	$1{,}33\,\alpha\,(\bar{\lambda} - 0{,}2)\,k_\gamma\,W_{pl}\,/\,A$	$\alpha\,(\bar{\lambda} - 0{,}2)\,k_\gamma\,W_{pl}\,/\,A$
	Section creuse circulaire	$1{,}5\,k_\gamma\,e_{eff}\,/\,\varepsilon$	$k_\gamma\,e_{eff}\,/\,\varepsilon$

$$k_\gamma = (1 - k_\delta) + 2k_\delta\bar{\lambda} \quad mais \quad k_\gamma \geq 1{,}0$$

Courbe de flambement	α	e_{eff}	k_δ			
			γ_{M1} = 1,05	γ_{M1} = 1,10	γ_{M1} = 1,15	γ_{M1} = 1,20
a_0	0,13	ℓ / 900	0,18	0,35	0,50	0,64
a	0,21	ℓ / 600	0,12	0,23	0,33	0,42
b	0,34	ℓ / 380	0,08	0,15	0,22	0,28
c	0,49	ℓ / 270	0,06	0,11	0,16	0,20
d	0,76	ℓ / 180	0,04	0,08	0,11	0,14

Éléments non uniformes :

Pour les éléments non uniformes, prendre la valeur de $W_e\ell\ /\ A$ ou de $W_p\ell\ /\ A$ au centre de la longueur de flambement ℓ .

Figure D.1 : Valeurs de calcul de l'imperfection initiale équivalente en arc $e_{o,d}$

D.5.3 Résistance à l'enfoncement local

(1) Pour la nuance d'acier S460 uniquement, il convient d'obtenir la résistance de calcul à l'enfoncement local $R_{a,Rd}$ de l'âme d'un profilé en I, H ou U par l'expression suivante :

$$R_{a,Rd} = 0{,}6\ t_w^2\ (Ef_{yw})^{0,5}\ [(t_f / t_w)^{0,5} + 3(t_w / t_f)\ (s_s / d)] / \gamma_{M1} \qquad \text{(D.1)}$$

où :

s_s : longueur d'appui rigide, voir 5.7.2(3);

t_w : épaisseur de l'âme;

t_f : épaisseur de semelle;

d : hauteur de l'âme entre les semelles;

E : module d'élasticité;

f_{yw} : limite d'élasticité de l'âme.

mais s_s / d ne doit pas être pris supérieur à 0,2.

(2) Pour la nuance d'acier S420, il convient d'obtenir la résistance de calcul à l'enfoncement local au moyen de l'expression (5.77) de 5.7.4(1).

(3) Lorsque l'élément est également soumis à des moments fléchissants, il convient de satisfaire les critères suivants :

$$F_{Sd} \leq R_{a,Rd} \qquad \text{(D.2a)}$$

$$M_{Sd} \leq M_{c,Rd} \qquad \text{(D.2b)}$$

et

$$\frac{F_{Sd}}{R_{a,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}5 \qquad \text{(D.2c)}$$

où :

F_{Sd} : force ou réaction transversale de calcul appliquée à l'âme à travers une semelle;

M_{Sd} : moment fléchissant dans l'élément;

$M_{c,Rd}$: moment résistant de calcul de la section transversale.

D.6 Assemblages sous charges statiques

D.6.1 Généralités

(1)P Les dispositions mentionnées à la section 6 s'appliquent également aux nuances d'acier S460 et S420 sauf lorsque des dispositions particulières sont mentionnées en D.6.2 ou D.6.3.

(2)P Les assemblages soumis à la fatigue doivent également satisfaire les exigences énoncées section 9.

D.6.2 Résistance de calcul d'une soudure d'angle

(1)P La résistance de calcul par unité de longueur d'une soudure d'angle doit être déterminée soit par la méthode donnée en 6.6.5.3, soit par la méthode alternative donnée dans l'Annexe M.

(2) Il convient de prendre la valeur du facteur de corrélation β_w égale à 1,0 pour les nuances d'acier S460 et S420.

(2) **A** Pour ces nuances, γ_{Mw} doit être pris égal à 1.25.

D.6.3 Assemblages poutre-poteau

C (1) à (3) ci-dessous se réfèrent à l'annexe J de l'ENV 1993-1-1-DAN (P 22-311-J) et seront caduques à la parution de l'amendement 1993-1-1/A2 – DAN.

(1) Les dispositions de l'Annexe J pour le calcul des assemblages poutre-poteau s'appliquent également aux nuances d'acier S460 et S420 sauf comme indiqué en (2) et (3).

(2) En J.2.3.2(4) lorsque les soudures longitudinales sont des soudures d'angle :

$$t_{w,eff} = 1{,}3\ t_{wc}$$

(3) En J.2.4.1(1) et en J.3.5.1(1) il convient de calculer la résistance de calcul à l'enfoncement de l'âme d'un poteau non raidi à l'aide de l'expression (D.1) en D.5.3(1) pour la nuance d'acier S460 uniquement, mais il convient d'utiliser l'expression (5.77) en 5.7.4(1) pour la nuance d'acier S420.

D.6.4 Assemblages de profils creux dans les poutres à treillis

(1) Il ne convient pas d'appliquer les règles d'application données dans l'Annexe K aux nuances d'acier S460 et S420 sans vérification expérimentale supplémentaire.

D.7 Fabrication avec des aciers selon l'EN 10113

D.7.1 Généralités

D.7.1.1 Objet de D.7

(1)P Les dispositions de la section 7 s'appliquent de façon générale aux nuances d'acier S460 et S420. D.7 traite des dispositions additionnelles et modifiées pour ces nuances.

(2)P Des directives supplémentaires sont données en D.7 pour la fabrication avec des aciers de nuances S460 et S420 de l'EN 10113.

(3)P D.7 précise également les exigences additionnelles pour le soudage des aciers de nuances S460 et S420 de l'EN 10113.

(4) Dans l'attente de l'élaboration d'une Norme européenne couvrant la fabrication et le soudage des aciers trempés et revenus, il convient de suivre les recommandations des producteurs d'acier et des fabricants de produits d'apport de soudage pour la nuance d'acier S460 selon l'EN 10137.

D.7.1.2 Type d'acier

(1)P Il doit être tenu compte du fait que les aciers de nuances S460 et S420 de l'EN 10113 peuvent être produits par différents procédés de fabrication faisant appel à des traitements thermiques et des compositions chimiques d'acier sensiblement différents pour obtenir des matériaux présentant des caractéristiques mécaniques similaires.

(2)P Étant donné que la composition chimique et les conditions de traitement thermique influent de façon importante sur le comportement d'un matériau au cours de la fabrication, on doit distinguer les conditions de livraison suivantes :

— M : acier obtenu par laminage thermomécanique;

— N : acier normalisé.

NOTE 1 Le laminage thermomécanique est un procédé de laminage dans lequel la déformation finale est réalisée à l'intérieur d'une plage de températures particulière donnant un matériau présentant certaines propriétés impossibles à obtenir ou à répéter par le traitement thermique seul.

(3)P L'acier obtenu par laminage thermomécanique peut aussi inclure l'acier produit par les procédés suivants :

— refroidissement accéléré sans revenu (AC);

— trempé et auto-revenu (QST).

(4)P L'acier normalisé peut aussi inclure l'acier produit par laminage normalisant.

NOTE 2 : Le laminage normalisant est un procédé de laminage dans lequel la déformation finale est réalisée à l'intérieur d'une plage de températures particulière donnant un matériau présentant des conditions équivalentes à celles obtenues après normalisation. Les valeurs spécifiées des propriétés mécaniques sont conservées même après normalisation.

(5)P L'acier sous condition de livraison M ne doit pas être normalisé. Seul l'acier sous condition de livraison N peut être normalisé.

(6) Les aciers fournis sous différentes conditions de livraisons présentent des différences significatives de compositions chimiques et de traitements thermiques. Pour cette raison, il est conseillé d'obtenir les recommandations du producteur de l'acier en ce qui concerne la fabrication et le soudage, et de les évaluer par rapport à la structure et à la procédure de fabrication prévues.

(7) Lorsque des aciers appartenant à différentes conditions de livraison doivent être soudés entre eux, il convient de vérifier et de documenter des exigences de fabrication spécifiques.

D.7.2 Formage

D.7.2.1 Formage à chaud

(1)P L'acier sous condition de livraison M ne doit pas être formé à chaud, sauf si les essais ont démontré que la procédure à utiliser, y compris la plage de températures, ne réduira pas les caractéristiques mécaniques de l'acier en dessous de celles prescrites.

(2)P L'acier sous condition de livraison N peut être formé à chaud. La température maximale au cours du formage à chaud ne doit pas dépasser 1 050 °C.

(3) Pour l'acier sous condition de livraison N, il convient de réaliser la dernière opération d'un procédé de formage à chaud dans la plage de températures de 750 °C à 980 °C, suivie d'un refroidissement à la température ambiante.

(4)P Afin d'éviter le durcissement, la vitesse de refroidissement doit être limitée. Lorsque ceci n'est pas possible, un traitement de normalisation doit être effectué ultérieurement.

D.7.2.2 Formage à froid

(1)P Le matériau sous conditions de livraison M et N peut être formé à froid.

(2) Au cours du formage à froid, il convient de tenir compte des propriétés supérieures de traction et de résilience de l'acier S460 ou S420, par rapport à l’acier S355.

(3)P Si, après formage à froid, un traitement de détensionnement doit être effectué, les deux conditions suivantes doivent être satisfaites avec les conditions de livraison M et N :

a) plage de températures : 530 °C à 580 °C;

b) temps de maintien : 2 min par mm d'épaisseur de matériau, mais au moins 30 min.

NOTE Un traitement de détensionnement à plus de 580 °C, ou pendant plus d'une heure, peut entraîner une dégradation des propriétés mécaniques. Lorsqu'il est prévu de détensionner des aciers S460 ou S420 à des températures supérieures ou pendant plus longtemps, il convient d'obtenir l'accord préalable du producteur d'acier sur les valeurs minimales exigées des propriétés mécaniques.

D.7.3 Coupage

(1)P Au cours du coupage, il doit être tenu compte des propriétés supérieures de traction de l'acier S460 ou S420, comparées à celles de l'acier S355.

D.7.4 Soudage

D.7.4.1 Soudabilité

(1)P Les aciers de nuances S460 et S420 peuvent être soudés au moyen de tous les procédés de soudage mentionnés en 6.6.1(2) à condition que les dispositions générales concernant le soudage données dans la Norme de Référence 9 (voir annexe B) et les dispositions particulières données dans la présente Annexe D soient respectées.

(2)P Seuls des soudeurs certifiés et des installations dûment qualifiées, ainsi que des modes opératoires de soudage qualifiés, doivent être utilisés pour la fabrication à partir d'aciers S460 et S420.

(3) Lorsque des aciers S460 et S420 sous conditions de livraison différentes (M ou N) doivent être soudés entre eux, il convient de respecter les recommandations des producteurs d'acier.

D.7.4.2 Chanfreinage

(1)P Le chanfreinage peut être effectué soit par usinage, soit par coupage à la flamme ou au plasma.

(2)P Dans le cas de coupage à la flamme ou au plasma, les exigences de préchauffage mentionnées en D.7.4.5 doivent être satisfaites.

(3)P Les zones de coupe doivent être décalaminées par meulage; leur bon état ainsi que l'absence de fissures doivent être vérifiés par un examen visuel et par un contrôle par ressuage ou un essai similaire.

D.7.4.3 Produits d'apport de soudage

(1)P Les caractéristiques mécaniques du métal d'apport doivent d'une façon générale correspondre à celles spécifiées pour la nuance d'acier à souder, voir D.3.2(2).

(2)P Pour le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées et le soudage à l'arc sous flux, on doit normalement utiliser des électrodes et des poudres courantes. Dans tous les autres cas, les recommandations du producteur d'acier doivent être respectées.

(3)P Lorsque des produits d'apport de soudage à faible teneur en hydrogène diffusible sont mis en oeuvre, le fabricant doit être en mesure de démontrer qu'il a utilisé ces produits conformément aux recommandations du producteur, et qu'ils ont été séchés ou étuvés en respectant les températures et les durées appropriées.

(4)P Dans tous les cas, les produits d'apport de soudage doivent être sélectionnés par rapport à l'application particulière, y compris la conception du joint, la position de soudage, et les caractéristiques requises pour répondre aux conditions de service.

(5)P Si les soudures doivent être soumises à un traitement thermique, il doit être tenu compte de l'influence de celui-ci sur les caractéristiques du métal d'apport.

(6) Il convient de consulter les recommandations des producteurs des produits d'apport de soudage en ce qui concerne les informations sur les caractéristiques du métal d'apport après traitement thermique.

(7)P Dans le cas de produits d'apport de soudage en acier fortement allié, les recommandations du producteur de produits d'apport de soudage concernant le traitement thermique doivent être respectées.

NOTE À l'état normalisé, les caractéristiques de traction du métal d'apport sont inférieures à celles notées à l'état brut de soudage.

D.7.4.4 Ténacité

D.7.4.4.1 Zone thermiquement affectée

(1)P Les caractéristiques de ténacité de la zone thermiquement affectée peuvent être inférieures à celles spécifiées pour la nuance d'acier à souder, à condition que la zone thermiquement affectée présente une ténacité suffisante pour les conditions de services particulières.

NOTE La ténacité est en général spécifiée sous forme d'énergie de rupture de flexion par choc sur éprouvette Charpy V à une température donnée.

(2)P Pour certaines applications, il peut s'avérer nécessaire de contrôler l'apport thermique en spécifiant les valeurs minimales et maximales autorisées. Cette plage d'apport thermique varie en fonction du type d'acier, de l'épaisseur, du préchauffage et de la ténacité exigée de la zone thermiquement affectée.

(3) Il convient de consulter le producteur d'acier quant au choix de l'acier le plus adapté pour satisfaire le niveau de ténacité de la zone thermiquement affectée en regard des apports thermiques prévus.

D.7.4.4.2 Métal d'apport

(1)P La méthode de soudage exerce une influence considérable sur la ténacité finale d'un joint soudé. Il doit être tenu compte des divers facteurs du mode opératoire de soudage susceptibles d'affecter les caractéristiques de ténacité.

(2) Pour l'obtention de valeurs de ténacité spécifiques du métal fondu à une température donnée, il convient de respecter les recommandations du fabricant de produits d'apport de soudage et du producteur d'acier.

D.7.4.5 Préchauffage

(1)P La nécessité d'un préchauffage préalable au soudage doit être déterminée à partir de la composition chimique de l'acier et du métal d'apport.

(2) Dans l'attente de l'élaboration d'une Norme Européenne couvrant les exigences de préchauffage pour une nuance d'acier donnée, il convient de respecter les recommandations du producteur d'acier et de les consigner par écrit.

NOTE Il existe des aciers sous condition de fourniture M présentant de faibles teneurs en carbone équivalent, qui ne nécessitent en général pas de préchauffage pour des épaisseurs allant jusqu'à 50 mm. Cette limite peut être augmentée pour certains aciers présentant de très faibles valeurs de carbone équivalent.

(3)P Lorsqu'un préchauffage est exigé, se reporter également à la Norme de Référence 9, voir annexe B.

(4)P La température de préchauffage est la température exigée de l'acier à souder immédiatement avant le début du soudage. La même valeur peut en général être adoptée comme température minimale entre passes pour les soudures à passes multiples.

(5)P Lorsqu'un préchauffage est appliqué localement aux bords à souder, le métal de base doit présenter la température exigée sur une distance d'au moins 100 mm, mais pas inférieure à quatre fois l'épaisseur du matériau, dans toutes les directions à partir des bords à souder.

(6) Lorsque cela est réalisable, il convient de mesurer la température de préchauffage sur la face opposée à celle soumise à la chauffe. Sinon, il est recommandé de confirmer la température de préchauffage sur la face chauffée à l'issue d'un délai approprié après retrait de la source thermique, en fonction de l'épaisseur du métal de base, afin de tenir compte de l'homogénéisation de la température de préchauffage.

(7) Lorsque l'on utilise un dispositif de chauffage permanent fixe et que l'accès à l'envers est impossible pour la mesure de la température de préchauffage, il convient de procéder à des mesures sur la surface de métal de base exposée immédiatement adjacente aux bords à souder.

D.8 Conception et dimensionnement assistés par l’expérimentation

(1)P Les dispositions de la section 8 s'appliquent également aux nuances d'acier S460 et S420.

D.9 Fatigue

(1)P Les exigences énoncées section 9 doivent également être satisfaites lorsqu'on utilise les nuances d'acier S460 et S420.

Annexe K [normative]
Assemblages de profils creux dans les poutres en treillis

C	Le renvoi de 5.8.2 de l'EC3-DAN (P 22-311) à K.10 de l'annexe KK se rapporte maintenant à K.4.3 de l'annexe K du présent amendement. Les autres renvois de l'EC3-DAN (P 22-311) aux annexes K ou KK se réfèrent maintenant à l'annexe K du présent amendement.

K.1 Généralités

K.1.1 Objet

(1) La présente Annexe fournit des règles d'application détaillées pour la détermination des résistances statiques de noeuds plans et multiplans dans les structures en treillis constituées de profils creux circulaires, carrés ou rectangulaires, et de noeuds plans dans les structures en treillis constituées de combinaisons de profils creux et de profils ouverts.

(2) Les résistances statiques des assemblages sont exprimées en termes de résistances de calcul maximales aux efforts axiaux et/ou aux moments pour les entretoises.

(3) Ces règles d'application sont valables à la fois pour les profils creux finis à chaud selon l'EN 10210 et pour les profils creux formés à froid selon le prEN 10219.

(4) Pour l'évaluation de la fatigue, voir section 9.

K.1.2 Exigences générales

(1) Il convient que la limite d'élasticité nominale des profils creux finis à chaud, et la limite d'élasticité nominale du matériau de base des profils creux formés à froid ne dépasse pas 355 N/mm².

(2) Il convient de respecter les exigences énoncées en 6.10.1.

(3) Il convient de limiter l'épaisseur nominale de paroi des profils creux à un minimum de 2,5 mm.

(4) Il convient de ne pas dépasser 25 mm pour l'épaisseur nominale de paroi d'une membrure en profil creux, sauf si des mesures particulières ont été prises pour garantir que les caractéristiques dans le sens de l'épaisseur du matériau seront appropriées.

(5) Il convient de prendre le coefficient partiel de sécurité pour la résistance des noeuds égal à :

$$\gamma_{Mj} = \boxed{1,1}$$

K.2 Définitions et symboles

(1) Dans la présente Annexe, le terme "noeud plan dans une structure en treillis" désigne un assemblage entre éléments qui sont situés dans un même plan.

(2) L'espacement *g* est défini comme la distance, mesurée le long de la face d'assemblage de la membrure, entre les pieds des barres de treillis adjacentes, voir figure K.1(a).

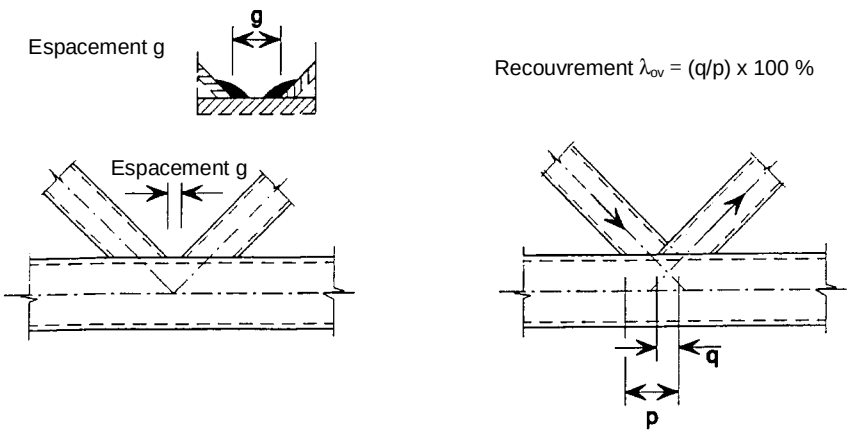
(3) Le recouvrement λ_{ov} est défini par (*q/p*) x 100 %, comme indiqué sur la figure K.1(b).

(4) La présente Annexe utilise les abréviations normalisées suivantes :

CHS pour "section creuse circulaire"

RHS pour "section creuse rectangulaire", qui, dans ce contexte, inclut les sections creuses carrées.

(5) Les symboles utilisés dans la présente Annexe pour désigner les différents types de noeuds sont indiqués sur la figure K.2.



(a) définition de l'espacement (b) définition du recouvrement

Figure K.1 : Espacement et recouvrement des noeuds

(6) Les symboles utilisés dans la présente Annexe sont définis comme suit :

A_i : aire de section transversale de l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2 ou 3);

A_v : aire de cisaillement de la membrure;

$A_{v,eff}$: aire de cisaillement efficace de la membrure;

E : module d'élasticité de l'acier;

L : longueur d'épure d'un élément;

$M_{ip,i,Rd}$: résistance de calcul du noeud, exprimée en termes de moment fléchissant dans le plan pour l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2, ou 3);

$M_{ip,i,Sd}$: moment fléchissant de calcul dans le plan pour l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2, ou 3);

$M_{op,i,Rd}$: résistance de calcul du noeud, exprimée en termes de moment fléchissant hors du plan pour l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2, ou 3);

$M_{op,i,Sd}$: moment fléchissant de calcul hors du plan pour l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2, ou 3);

$N_{i,Rd}$: résistance de calcul du noeud, exprimée en termes d'effort axial dans l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2, ou 3);

$N_{i,Sd}$: effort axial de calcul dans l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2, ou 3);

$W_{el,i}$: module de résistance élastique de l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2, ou 3);

$W_{pl,i}$: module de résistance plastique de l'élément *i* (*i* = 0, 1, 2, ou 3);

b_i : largeur hors-tout hors du plan de la section rectangulaire de l'élément i (i = 0, 1, 2, ou 3);

b_{eff} : largeur efficace pour un assemblage barre de treillis-membrure;

$b_{e,ov}$: largeur efficace pour un assemblage barre de treillis recouvrante sur barre recouverte;

$b_{e,p}$: largeur efficace pour le poinçonnement;

b_p : largeur d'une plaque;

b_w : largeur efficace de l'âme de la membrure;

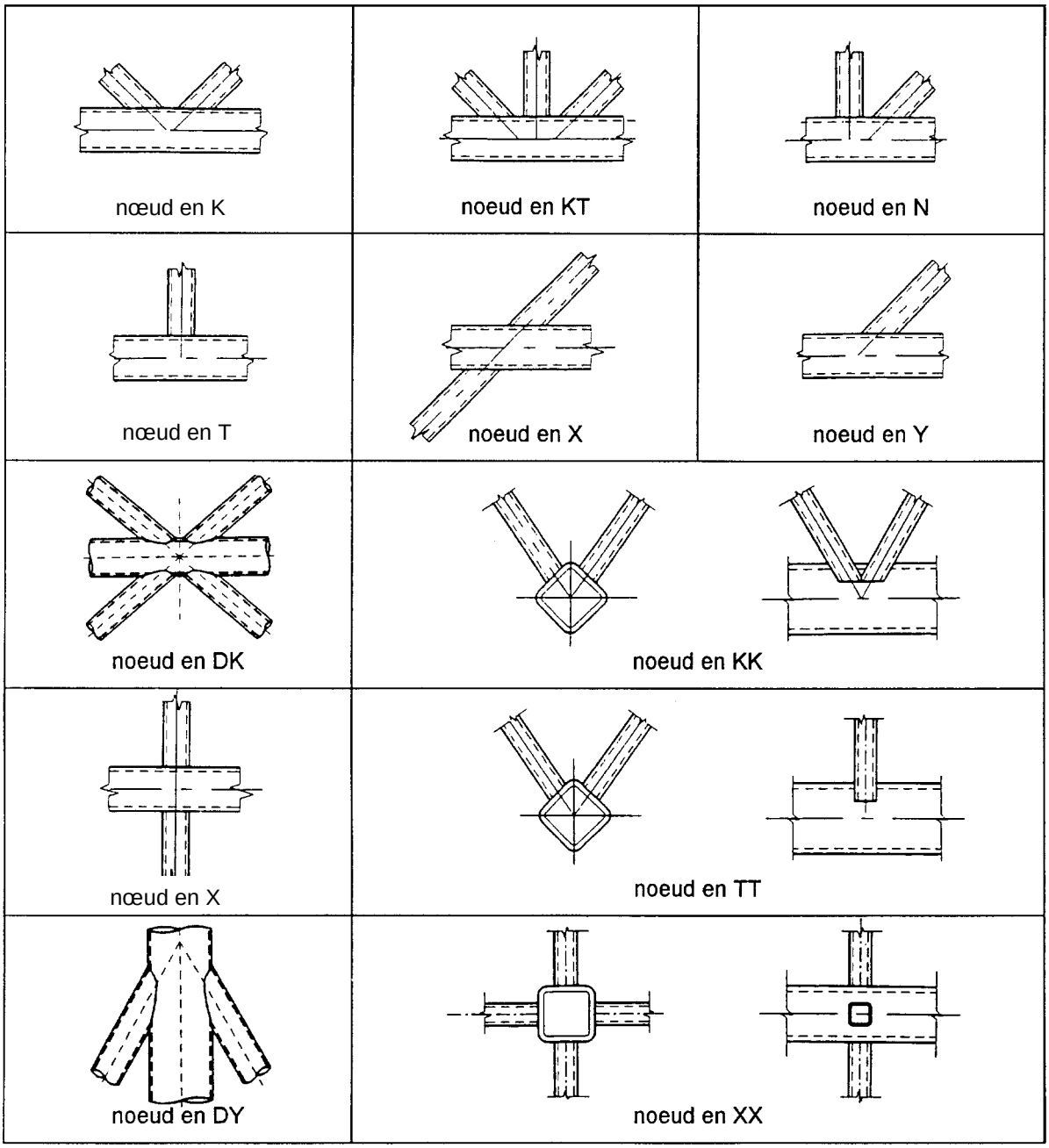


Figure K.2 : Désignations des types de noeuds

d_i : diamètre extérieur de l'élément en section creuse circulaire i (i = 0, 1, 2, ou 3);

d_w : hauteur de l'âme d'un élément de membrure en profil en I ou en H;

e : excentricité d'un noeud;

f_b : résistance au flambement de la paroi latérale de la membrure;

f_{yi} : valeur de calcul de la limite d'élasticité de l'élément i (i = 0, 1, 2, ou 3);

f_{y0} : valeur de calcul de la limite d'élasticité d'un élément de membrure;

g : espacement entre les barres de treillis d'un noeud en K ou N (les valeurs négatives de g représentent un recouvrement q);

h_i : hauteur hors-tout dans le plan de la section transversale de l'élément i (i = 0, 1, 2, ou 3);

k : coefficient défini dans le tableau approprié, avec indice g, m, n ou p;

ℓ : longueur de flambement d'un élément;

p : longueur de l'aire de contact projetée de la barre de treillis recouvrante sur la face de la membrure, en l'absence de la barre recouverte;

q : longueur de recouvrement, mesurée au niveau de la face de la membrure, entre les barres de treillis, dans un joint en K ou en N;

r : rayon de congé d'un profil en I ou en H, ou rayon d'angle d'une section creuse rectangulaire;

t_f : épaisseur de l'aile d'un profil en I ou en H;

t_i : épaisseur de la paroi de l'élément i (i = 0, 1, 2, ou 3);

t_p : épaisseur d'une plaque;

t_w : épaisseur de l'âme d'un profil en I ou en H;

α : coefficient défini dans le tableau approprié;

γ_{Mj} : coefficient partiel de sécurité pour la résistance du noeud;

θ_i : angle inclus entre la barre de treillis i et la membrure (i = 1, 2, ou 3);

κ : coefficient défini lorsqu'il est utilisé;

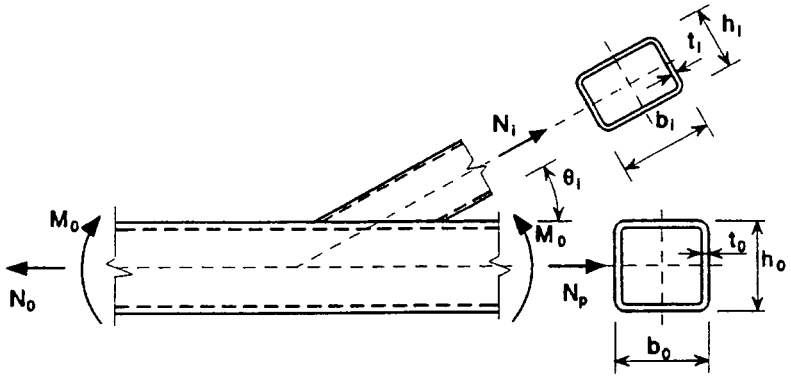
μ : coefficient défini dans le tableau approprié;

ϕ : angle entre les plans dans un noeud multiplan.

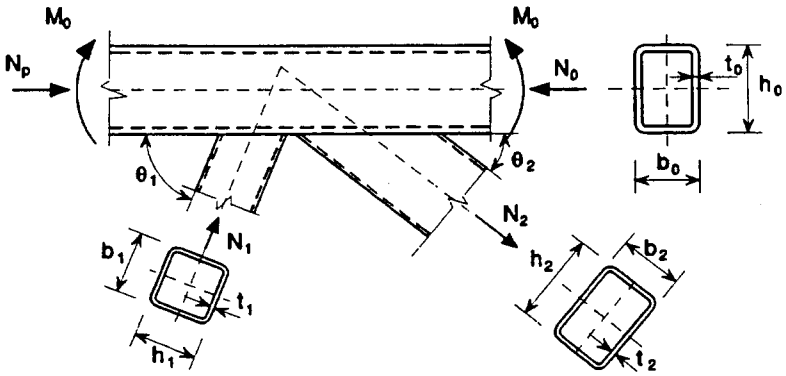
(7) Les entiers utilisés en indices dans la présente annexe sont définis comme suit :

i : entier utilisé en indice pour désigner un élément d'un noeud, *i* = 0 désignant une membrure, et *i* = 1, 2 ou 3 les barres de treillis. Dans les noeuds comportant deux barres de treillis, *i* = 1 désigne normalement la barre de treillis comprimée, et *i* = 2 la barre tendue, voir figure K.3(a). Pour une barre unique *i* = 1, qu'elle soit comprimée ou tendue, voir figure K.3(b);

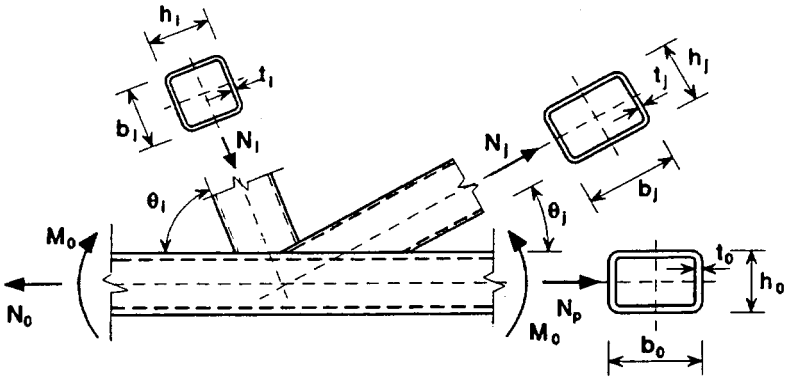
i et *j* : entiers utilisés en indice dans les noeuds de type avec recouvrement, *i* pour désigner la barre recouvrante, et *j* pour désigner la barre recouverte, voir figure K.3(c).



a) Noeuds comportant une barre de treillis unique



b) Noeuds avec espacement comportant deux barres de treillis



c) Noeuds avec recouvrement comportant deux barres de treillis

Figure K.3 : Dimensions et autres paramètres au niveau d'un noeud

(8) Les rapports de contraintes utilisés dans la présente Annexe sont définis comme suit :

n : rapport ($\sigma_{0,Ed}$ / f_{y0}) [γ_{Mj} / 1,1] (utilisé pour les membrures en RHS);

n_p : rapport ($\sigma_{p,Ed}$ / f_{y0}) [γ_{Mj} / 1,1] (utilisé pour les membrures en CHS);

$\sigma_{0,Ed}$: contrainte maximale de compression dans la membrure au niveau d'un noeud, déterminée à partir de :

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Sd}}{A_0} + \frac{M_{0,Sd}}{W_{el,0}}$$

$\sigma_{p,Ed}$: valeur de $\sigma_{0,Ed}$ excluant l'effort dû aux composantes horizontales des forces s'exerçant dans les barres de treillis au niveau du noeud, voir figure K.3, déterminée à partir de :

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Sd}}{A_0} + \frac{M_{0,Sd}}{W_{el,0}}$$

où :

$$N_{p,Sd} = N_{0,Sd} - \sum_{i>0} N_{i,Sd} \cos \theta_i$$

(9) Les rapports géométriques utilisés dans la présente Annexe sont définis comme suit :

β : rapport du diamètre ou du diamètre moyen, de la largeur ou de la largeur moyenne des barres de treillis avec le diamètre ou la largeur de la membrure :

$$\left(\frac{d_1}{d_0} \quad ; \quad \frac{d_1 + d_2}{2d_0} \quad ; \quad \frac{b_1}{b_0} \quad ou \quad \frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right)$$

β_p : rapport b_i / b_p ;

γ : rapport de la largeur ou du diamètre de la membrure à deux fois son épaisseur de paroi :

$$\left(\frac{d_0}{2t_0} \quad ; \quad \frac{b_0}{2t_0} \quad ou \quad \frac{b_0}{2t_f} \right)$$

η : rapport de la hauteur de la barre de treillis au diamètre ou à la largeur de la membrure :

$$\left(\frac{h_i}{d_0} \quad ou \quad \frac{h_i}{b_0} \right)$$

η_p : rapport h_i / b_p ;

λ_{ov} : taux de recouvrement, exprimé sous forme de pourcentage (λ_{ov} = (q/p) x 100 %).

K.3 Domaine d'application

(1) Les règles d'application données dans la présente Annexe ne peuvent être utilisées que si la totalité des conditions suivantes est satisfaite.

(2) Il convient que les éléments comprimés respectent les exigences de la Classe 1 ou de la Classe 2 énoncées en 5.3.2 pour la condition de flexion pure.

(3) Il convient que les angles θ_i entre les membrures et les barres de treillis, ainsi qu'entre barres de treillis adjacentes, satisfassent :

$$\theta_i \geq 30°$$

(4) Il convient que les extrémités des éléments constituant un assemblage soient préparées de telle sorte qu'il n'y ait pas de modification de forme de leur section transversale. Les assemblages d'extrémités aplaties et les assemblages d'extrémités cisaillées ne sont pas couverts dans la présente annexe.

(5) Dans les assemblages avec espacement, afin de garantir que le jeu est approprié à l'exécution de soudures satisfaisantes, il convient que l'espacement entre les barres ne soit pas inférieur à (t_1 + t_2).

(6) Dans les assemblages avec recouvrement, il convient que le recouvrement soit assez important pour garantir que l'interconnexion des barres est suffisante pour une bonne transmission du cisaillement d'une barre à l'autre. Dans tous les cas, il convient que le recouvrement soit d'au moins 25 %.

(7) Lorsque des barres de treillis se recouvrant sont d'épaisseur différente, Il convient que l'élément le plus mince recouvre l'élément le plus épais.

(8) Lorsque des barres de treillis se recouvrant sont de nuance différente, Il convient que l'élément de limite d'élasticité la plus basse recouvre l'élément de limite d'élasticité la plus élevée.

(9) Lorsque des barres de treillis se recouvrant sont de largeur différente, il convient que l'élément le plus étroit recouvre le plus large.

K.4 Calcul

K.4.1 Généralités

(1) Il convient que les valeurs de calcul des efforts axiaux s'exerçant à la fois dans les barres de treillis et dans les membrures à l'état limite ultime ne dépassent pas les résistances de calcul des éléments déterminées à partir de la section 5.

(2) Il convient également que les valeurs de calcul des efforts axiaux s'exerçant dans les barres de treillis à l'état limite ultime ne dépassent pas les résistances de calcul des noeuds données en K.6, K.7 ou K.8 selon le cas.

K.4.2 Analyse

(1) La répartition des efforts axiaux dans une poutre en treillis peut être déterminée en supposant que les éléments sont assemblés par des nœuds articulés.

(2) Les moments secondaires au niveau des noeuds, induits par les rigidités de flexion réelles des noeuds, peuvent être négligés à la fois dans le calcul des éléments et dans le calcul des assemblages, à condition que les deux conditions suivantes soient satisfaites :

— la géométrie du noeud est comprise dans le domaine de validité spécifié dans les tableaux K.5, K.12, K.13 ou K.24 selon le cas;

— le rapport de la longueur d'épure à la hauteur de l'élément dans le plan de la poutre n'est pas inférieur à la valeur minimale appropriée. Pour les structures de bâtiments, la valeur minimale appropriée peut être prise égale à 6 par hypothèse. Des valeurs plus élevées peuvent s'appliquer dans d'autres Parties de l'ENV 1993.

(3) Il convient que les moments résultant de charges transversales (dans le plan ou hors du plan) qui sont appliquées entre les noeuds soient pris en compte dans le calcul des éléments auxquels ils s'appliquent. Sous réserve que les conditions énoncées en (2) soient satisfaites :

— les barres de treillis peuvent être considérées comme articulées aux membrures, de sorte que les moments résultant des charges transversales appliquées aux éléments de membrure n'ont pas à être répartis dans les barres de treillis, et vice versa;

— les membrures peuvent être considérées comme des poutres continues, avec des appuis simples au niveau des noeuds.

(4) Les moments résultant des excentricités peuvent être négligés dans le calcul des membrures et barres de treillis tendues. Ils peuvent être également négligés dans le calcul des assemblages si les excentricités restent dans les limites suivantes :

- $0{,}55\ d_0 \leq e \leq 0{,}25\ d_0$ (K.1a)

- $0{,}55\ h_0 \leq e \leq 0{,}25\ h_0$ (K.1b)

où :

e : excentricité définie sur la figure K.4;

d_0 : diamètre de la membrure;

h_0 : hauteur de la membrure, dans le plan de la poutre en treillis.

(5) Lorsque les excentricités restent dans les limites données en (4), il convient de prendre en compte les moments résultant des excentricités dans le calcul des membrures comprimées. Dans ce cas, il convient de répartir les moments dus aux excentricités entre les membrures comprimées de part et d'autre du joint, sur la base de leurs coefficients de rigidité relative I / L, où L représente la longueur d'épure de l'élément, mesurée entre noeuds.

(6) Lorsque les excentricités dépassent les limites données en (4), il convient de prendre en compte les moments résultant des excentricités dans le calcul des assemblages et des membrures comprimées. Dans ce cas, il convient de répartir les moments dus aux excentricités entre tous les éléments aboutissant au noeud, sur la base de leurs coefficients de rigidité relative I / L.

(7) Il convient également de prendre en compte les efforts dans une membrure résultant des moments pris en compte dans le calcul de la membrure dans la détermination des coefficients k_m, k_n et k_p utilisés dans le calcul des assemblages, voir tableaux K.6 à K.9, K.14 et K.16 à K.18.

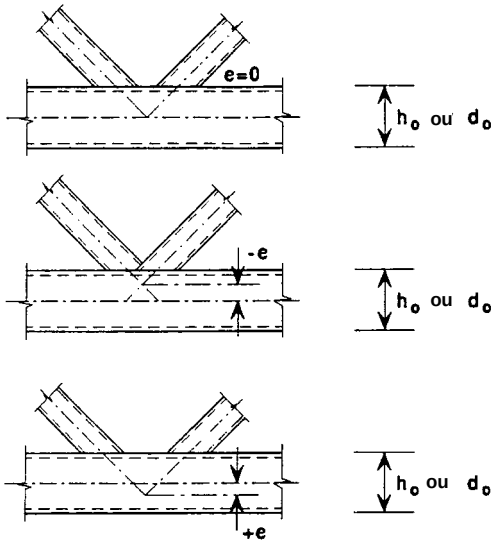


Figure K.4 : Excentricités des nœuds

(8) Les cas dans lesquels il convient de prendre en compte les moments sont résumés dans le tableau K.1.

Tableau K.1 : Prise en compte des moments fléchissants

Type de composant	Source du moment fléchissant		
	Effets secondaires	Chargement transversal	Excentricité
Membrure comprimée	Non si K.4.2(2) est respecté	Oui	Oui
Membrure tendue			Non
Barre de treillis			Non
Noeud			Non si K.4.2(2) est respecté

K.4.3 Longueurs de flambement des profils creux dans les structures triangulées

(1) Il convient que la longueur de flambement ℓ d'une membrure en profil creux soit prise égale à 0,9*L* pour le flambement à la fois dans le plan et hors du plan, où *L* représente la longueur d'épure de l'élément dans le plan concerné, à moins qu'une longueur de flambement plus faible puisse être justifiée par l'analyse.

(2) Il convient que la longueur de flambement ℓ d'une membrure en profil en I ou H soit prise égale à 0,9*L* pour le flambement dans le plan et à 1,0*L* pour le flambement hors du plan, à moins qu'une longueur de flambement plus faible puisse être justifiée par l'analyse.

(3) Il convient que la longueur de flambement ℓ d'une barre de treillis en profil creux avec assemblage boulonné, voir K.9, soit prise égale à 1,0*L* pour le flambement à la fois dans le plan et hors du plan.

(4) La longueur de flambement ℓ d'une barre de treillis en profil creux sans extrémité aplatie ou cisaillée, soudée sur son périmètre sur des membrures en profil creux, peut en général être prise égale à 0,75*L* pour le flambement à la fois dans le plan et hors du plan. Comme alternative, on peut déterminer sa longueur de flambement ℓ à l'aide des expressions données dans le tableau K.2.

(5) Lorsque les conditions à chaque extrémité d'une barre de treillis sont différentes, il convient de prendre la longueur de flambement ℓ égale à la moyenne arithmétique des valeurs respectives pour les deux conditions d'extrémités.

K.4.4 Modes de ruine pour les assemblages de profils creux

(1) Il convient que les résistances de calcul des assemblages entre profils creux et des assemblages de profils creux sur des profils ouverts soient fondées sur les modes de ruine suivants, selon le cas :

a) **Ruine de la face de la membrure** (ruine par plastification de la face de la membrure) ou plastification de la membrure (ruine par plastification de la section transversale de la membrure);

b) **Ruine de la paroi latérale de la membrure** (ou **ruine de l'âme de la membrure**) par plastification ou instabilité (écrasement, enfoncement local ou voilement de la paroi latérale de la membrure ou de l'âme de la membrure) sous la barre de treillis comprimée;

c) **Ruine par cisaillement de la membrure**;

d) **Ruine par poinçonnement** de la paroi de membrure en profil creux (amorce de fissure entraînant la séparation des barres de treillis de la membrure);

e) **Ruine de la barre de treillis** avec largeur efficace réduite (fissuration dans les soudures ou les barres de treillis);

f) **Ruine par voilement local** d'une barre de treillis ou d'une membrure en profil creux.

NOTE Les expressions figurant en gras dans cette liste sont utilisées pour décrire les divers modes de ruine dans les tableaux de résistances de calcul donnés en K.6 à K.8.

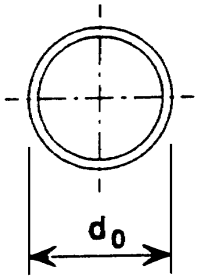
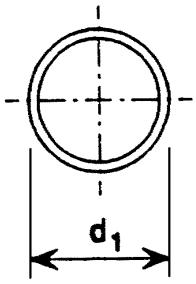
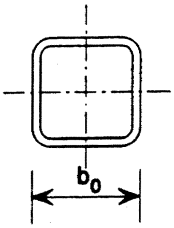
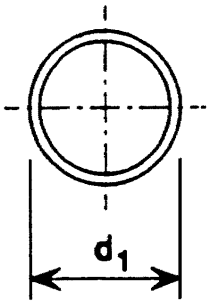
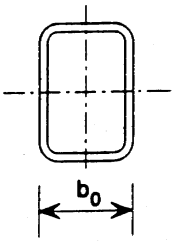
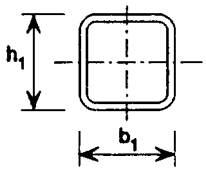
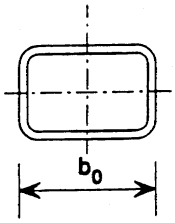
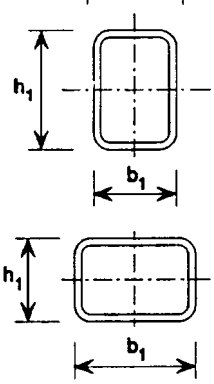
(2) La figure K.5 illustre les modes de ruine (a) à (f) pour les nœuds entre barres de treillis et membrures en CHS.

(3) La figure K.6 illustre les modes de ruine (a) à (f) pour les nœuds entre barres de treillis et membrures en RHS.

(4) La figure K.7 illustre les modes de ruine (a) à (f) pour les nœuds entre barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en profils en I ou H.

(5) Bien que la résistance d'un noeud comportant des soudures correctement exécutées soit en général plus élevée en traction qu'en compression, il convient que la résistance de calcul du noeud soit fondée sur sa résistance en compression pour éviter toute éventuelle déformation locale excessive ou réduction de capacité de rotation ou capacité de déformation qui autrement pourrait apparaître.

Tableau K.2 : Longueurs de flambement dans le plan et hors du plan ℓ/L pour des barres de treillis en profil creux soudées sur des membrures en profil creux

Membrure	Barre de treillis	ℓ/L
		$\ell/L = 2{,}20 \sqrt[4]{\dfrac{d_1^2}{L\,d_0}}$ mais $\ell/L \geq 0{,}6$ et $\ell/L \leq 0{,}75$
		$\ell/L = 2{,}35 \sqrt[4]{\dfrac{d_1^2}{L\,b_0}}$ mais $\ell/L \geq 0{,}6$ et $\ell/L \leq 0{,}75$
		Dans le plan : $\ell/L = 2{,}30 \sqrt[4]{\dfrac{b_1^2}{L\,b_0}}$ mais $\ell/L \geq 0{,}6$ et $\ell/L \leq 0{,}75$
		Hors du plan : $\ell/L = 2{,}30 \sqrt[4]{\dfrac{h_1^2}{L\,b_0}}$ mais $\ell/L \geq 0{,}6$ et $\ell/L \leq 0{,}75$

Légende : b_0 : largeur d'une membrure en profil creux rectangulaire (hors du plan);

b_1 : largeur d'une barre de treillis en profil creux rectangulaire (hors du plan);

d_0 : diamètre d'une membrure en profil creux circulaire;

d_1 : diamètre d'une barre de treillis en profil creux circulaire;

h_1 : hauteur d'une barre de treillis en profil creux rectangulaire (dans le plan);

ℓ : longueur de flambement d'une barre de treillis;

L : longueur d'épure d'une barre de treillis.

Mode	Charge axiale	Moment de flexion
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figure K.5 : Modes de ruine pour les noeuds entre éléments en CHS

Mode	Charge axiale	Moment de flexion
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figure K.6 : Modes de ruine pour les noeuds avec barres de treillis en RHS et membrures en RHS

Mode	Charge axiale	Moment de flexion
a	-	-
b		
c		
d	-	-
e	amorce de fissure A A A-A	
f		

Figure K.7 : Modes de ruine pour les noeuds entre barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en profils en I ou H

K.5 Soudures

K.5.1 Résistance de calcul

(1) Il convient que les soudures unissant les barres de treillis aux membrures soient calculées de sorte à posséder une résistance suffisante pour tenir compte des répartitions d'efforts non uniformes, et une capacité de déformation suffisante pour tenir compte de la redistribution des moments fléchissants.

(2) Dans les assemblages soudés, il convient en général que l'assemblage soit réalisé sur la totalité du périmètre du profil creux au moyen d'une soudure bout-à-bout, d'une soudure d'angle, ou d'une combinaison des deux. Toutefois, dans les noeuds avec recouvrement partiel, il est inutile de souder la partie cachée de l'assemblage à condition que les efforts axiaux s'exerçant dans les barres de treillis soient tels que leurs composantes perpendiculaires à l'axe de la membrure ne diffèrent pas de plus de 20 %.

(3) La figure K.8 montre des détails de soudure typiques.

(4) Il convient en général que la résistance de calcul de la soudure, par longueur unitaire de périmètre d'une barre de treillis, ne soit normalement pas inférieure à la résistance de calcul de la section transversale de cet élément par longueur unitaire de périmètre.

(5) Il convient que l'épaisseur exigée de la gorge soit déterminée d'après 6.6.5.

(6) Le critère donné en (4) est satisfait si l'épaisseur de la gorge *a* d'une soudure d'angle satisfait les conditions suivantes :

— pour l'acier selon l'EN 10025 :

- pour S235 : $a/t \geq 0{,}84\ \alpha$ (K.2a)
- pour S275 : $a/t \geq 0{,}87\ \alpha$ (K.2b)
- pour S355 : $a/t \geq 1{,}01\ \alpha$ (K.2c)

— pour l'acier selon l'EN 10113 :

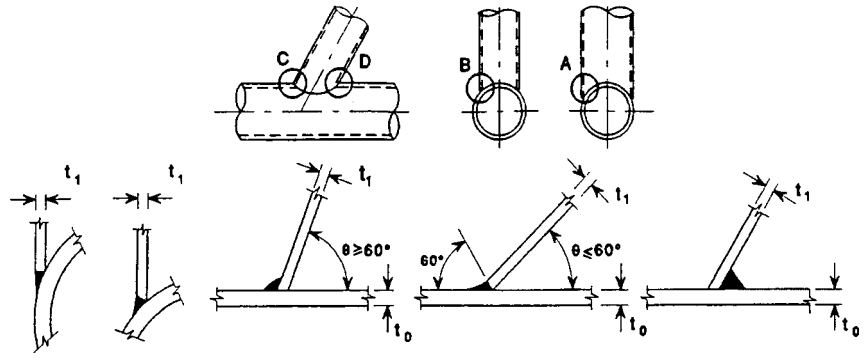
- pour S275 : $a/t \geq 0{,}91\ \alpha$ (K.2d)
- pour S355 : $a/t \geq 1{,}05\ \alpha$ (K.2e)

Lorsque $\gamma_{Mj} = 1{,}1$ et $\gamma_{Mw} = 1{,}25$ la valeur de α est 1,0. Sinon, il convient de déterminer α de la façon suivante :

$$\alpha = \frac{1{,}1}{\gamma_{Mj}} \times \frac{\gamma_{Mw}}{1{,}25} \qquad \text{(K.3)}$$

(7) Le critère donné en (4) peut être négligé lorsqu'une dimension de soudure plus faible peut être justifiée à la fois par rapport à la résistance et par rapport à la capacité de déformation et à la capacité de rotation, en tenant compte de la possibilité qu'une partie seulement de sa longueur soit efficace.

(8) Les longueurs efficaces de soudures ℓ_{eff} pour les barres de treillis en profil creux rectangulaire dans les assemblages de type avec espacement sont données dans le tableau K.3.



Détail A
$d_1 = d_0$

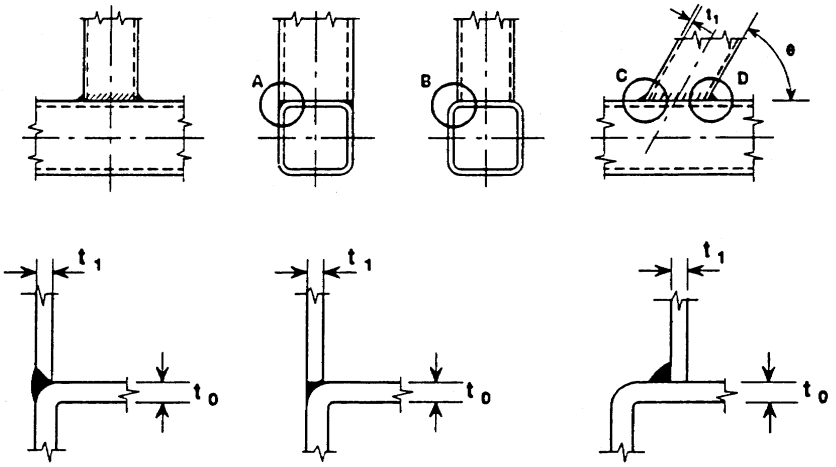
Détail B
$d_1 < d_0$

Détail C1

Détail C2

Détail D

a) Profils creux circulaires

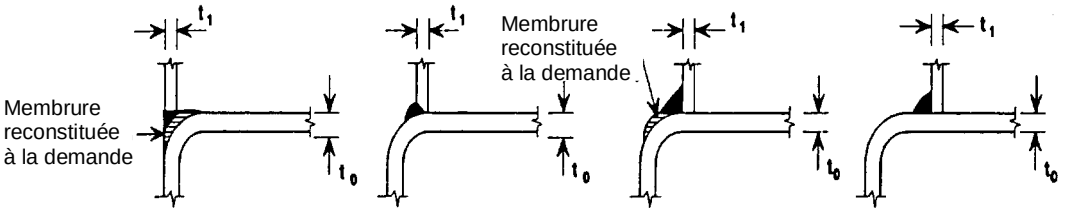


Détail A1
$b_1 = b_0$

Détail A2
$b_1 = b_0$

Détail B
$b_1 < b_0$

Détails A et B - Profils finis à chaud



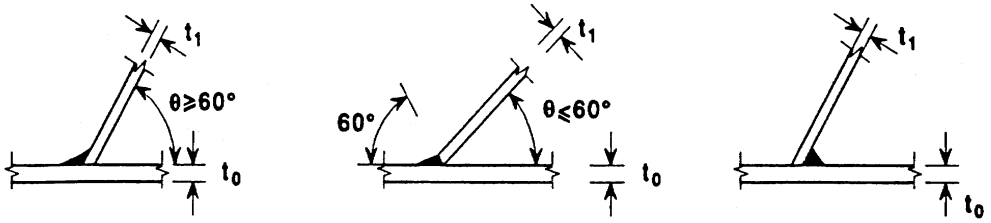
Détail A
$b_1 = b_0$

Détail B1
$b_1 = b_0$

Détail B2
$b_1 = b_0$

Détail B3
$b_1 = b_0$

Détails A et B - Profils formés à froid



Détail C1

Détail C2

Détail D

Détails C et D - Finis à chaud et formés à froid

b) Profils creux carrés et rectangulaires

Figure K.8 : Détails de soudures recommandés

Tableau K.3 : Longueurs de soudure efficaces ℓ_{eff} pour les barres de treillis en profil creux rectangulaire dans les assemblages avec espacement

Noeuds en X, Y et T			$\ell_{eff} = 2h_i / \sin \theta_i$
Noeuds en K et N	pour $\theta_i \geq 60°$	:	$\ell_{eff} = 2h_i / \sin \theta_i + b_i$
	pour $\theta_i \leq 50°$	:	$\ell_{eff} = 2h_i / \sin \theta_i + 2b_i$
	pour $50° < \theta_i < 60°$	:	utiliser une interpolation linéaire

K.5.2 Soudage dans les zones déformées à froid

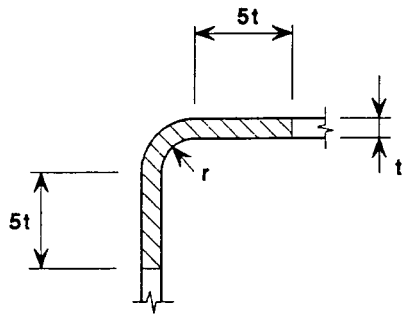
(1) Dans les profils creux rectangulaires ou carrés formés à froid, Il ne convient pas que le soudage soit effectué dans les zones déformées à froid ou à l'intérieur d'une largeur adjacente de 5*t* de part et d'autre, voir tableau K.4, à moins que l'une des conditions suivantes ne soit satisfaite :

— les zones déformées à froid sont normalisées après formage à froid mais avant soudage;

— l'épaisseur n'est pas supérieure à la valeur appropriée obtenue d'après le tableau K.4.

Tableau K.4 : Conditions pour le soudage de zones déformées à froid et de matériau adjacent

r / t	Déformation due au formage à froid (%)	Épaisseur maximale (mm)		
		Généralement		Acier calmé
		Chargement statique prédominant	Si fatigue prédominante	Acier calmé à l'aluminium (Al ≥ 0,02 %)
≥ 25	≥ 2	quelconque	quelconque	quelconque
≥ 10	≥ 5	quelconque	16	quelconque
≥ 3,0	≥ 14	24	12	24
≥ 2,0	≥ 20	12	10	12
≥ 1,5	≥ 25	8	8	10
≥ 1,0	≥ 33	4	4	6



K.6 Noeuds soudés entre éléments en CHS

K.6.1 Généralités

(1) À condition que la géométrie des noeuds soit dans le domaine de validité donné dans le tableau K.5, il convient de déterminer les résistances de calcul des noeuds soudés entre éléments en profil creux circulaire à l'aide de K.6.2 et K.6.3.

(2) Pour les noeuds se situant dans le domaine de validité donné dans le tableau K.5, on ne doit considérer que la ruine de la face de la membrure et le poinçonnement. Pour la résistance de calcul d'un assemblage, il convient de prendre la plus faible valeur pour ces deux critères.

(3) Pour les assemblages se situant hors du domaine de validité donné dans le tableau K.5, il convient que tous les critères donnés en K.4.4 soient pris en compte. En outre, Il convient de tenir compte des moments secondaires s'exerçant dans les assemblages en raison de leur rigidité de flexion.

Tableau K.5 : Domaine de validité pour les noeuds soudés avec barres de treillis en CHS et membrures en CHS

	0,2	≤	d_i / d_0	≤	1,0
	10	≤	d_0 / t_0	≤	50 en général
mais	10	≤	d_0 / t_0	≤	40 pour les noeuds en X
	10	≤	d_i / t_i	≤	50
	λ_{ov}	≥	25 %		
	g	≥	$t_1 + t_2$		

K.6.2 Noeuds plans

(1) Dans les assemblages de treillis soumis uniquement à des efforts axiaux, Il convient que l'effort axial interne de calcul $N_{i,Sd}$ ne soit pas supérieur à la résistance axiale de calcul du noeud soudé $N_{i,Rd}$ obtenue d'après les tableaux K.6, K.7 ou K.8 selon le cas.

(2) Les assemblages de treillis soumis à une combinaison d'effort axial et de flexion doivent satisfaire :

$$\frac{N_{i,Sd}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Sd}}{M_{ip,i,Rd}}\right]^2 + \frac{M_{op,i,Sd}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad \text{(K.4)}$$

où :

$M_{ip,i,Rd}$: moment résistant de calcul dans le plan;

$M_{ip,i,Sd}$: moment fléchissant de calcul dans le plan;

$M_{op,i,Rd}$: moment résistant de calcul hors du plan;

et $M_{op,i,Sd}$: moment fléchissant de calcul hors du plan.

Tableau K.6 : Résistances axiales de calcul de noeuds soudés avec barres de treillis en CHS et membrures en CHS

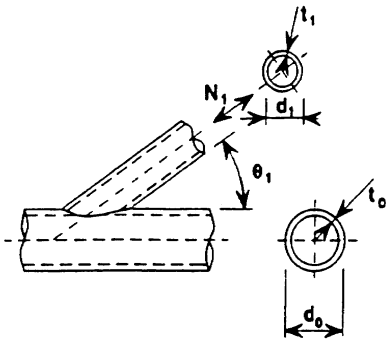
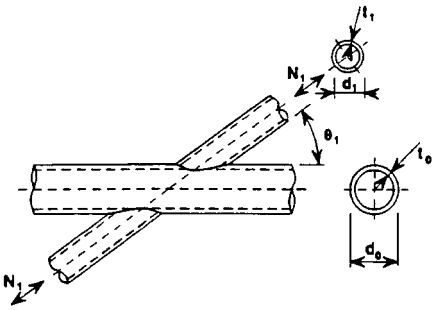
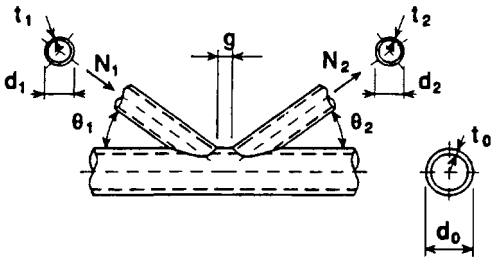
Ruine de la face de la membrure - Noeuds en T et Y	
	$N_{1,Rd} = \dfrac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^{\,2}}{\sin\theta_1}\left(2{,}8+14{,}2\beta^2\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
Ruine de la face de la membrure - Noeuds en X	
	$N_{1,Rd} = \dfrac{k_p f_{y0} t_0^{\,2}}{\sin\theta_1}\dfrac{5{,}2}{\left(1-0{,}81\beta\right)}\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
Ruine de la face de la membrure - Nœuds en K et N avec espacement ou recouvrement	
	$N_{1,Rd} = \dfrac{k_g k_p f_{y0} t_0^{\,2}}{(1-\beta)\sin\theta_1}\left(1{,}8+10{,}2\dfrac{d_1}{d_0}\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$ $N_{2,Rd} = \dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} N_{1,Rd}$
Ruine par poinçonnement – Nœuds avec espacement en K, N et KT et tous Noeuds en T, Y et X [i = 1, 2 ou 3]	
Lorsque $d_i \le d_0 - 2t_0$: $N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_l \dfrac{1+\sin\theta_1}{2\sin^2\theta_1}\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$	
Coefficients k_g et k_p	
$k_g = \gamma^{0,2}\left(1+\dfrac{0{,}024\gamma^{1,2}}{1+\exp\left(0{,}5g/t_0-1{,}33\right)}\right)$	(voir figure K.9)
Pour $n_p > 0$ (compression) : $k_p = 1 - 0{,}3\, n_p\,(1 + n_p)$ mais $k_p \le 1{,}0$ Pour $n_p \le 0$ (traction) : $k_p = 1{,}0$	

Tableau K.7 : Résistances de calcul de noeuds avec goussets soudés sur éléments en CHS

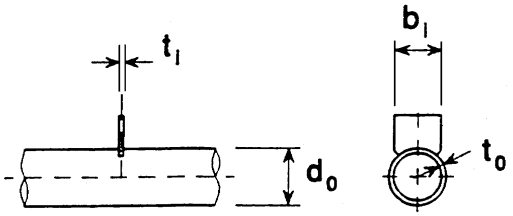
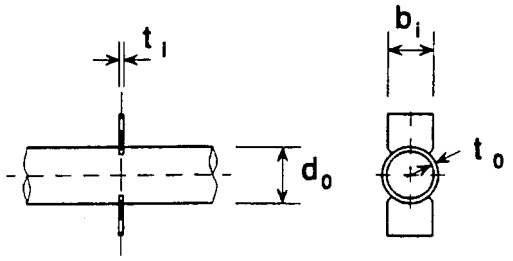
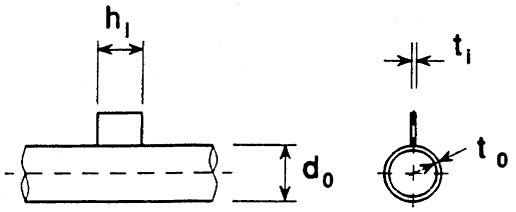
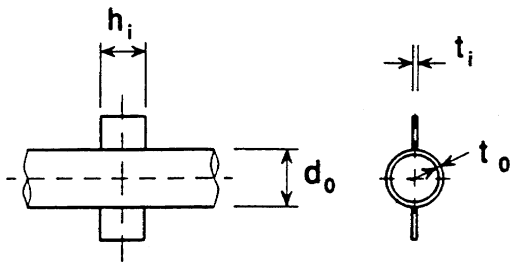
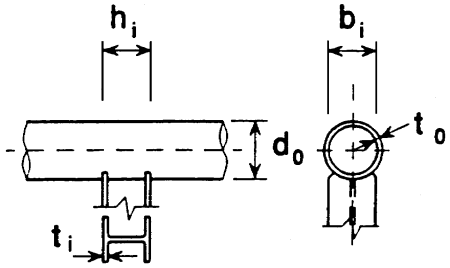
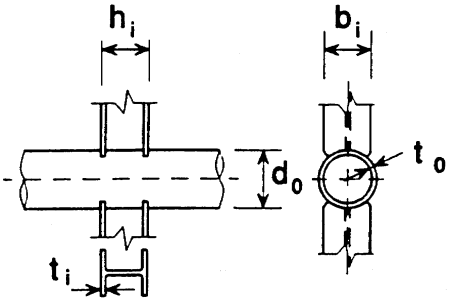
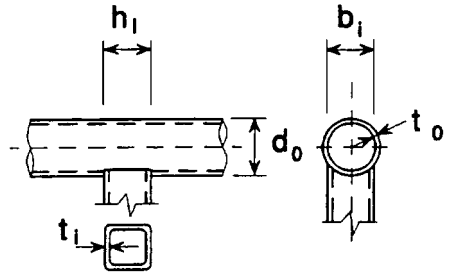
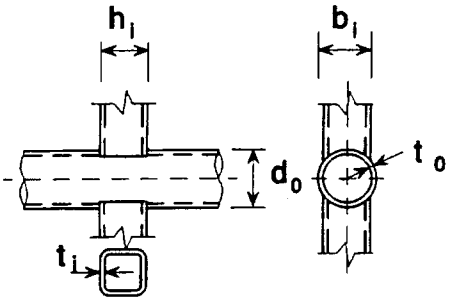
Ruine de la face de la membrure	
	$N_{i,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 \left(4 + 20\beta^2\right)\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = 0$ $M_{op,i,Rd} = 0{,}5\, b_i\, N_{i,Rd}$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0{,}81\beta}\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = 0$ $M_{op,i,Rd} = 0{,}5\, b_i\, N_{i,Rd}$
$t_i / d_0 \leq 0{,}2$ 	$N_{i,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 \left(1 + 0{,}25\eta\right)\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = h_i\, N_{i,Rd}$ $M_{op,i,Rd} = 0$
$t_i / d_0 \leq 0{,}2$ 	$N_{i,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 \left(1 + 0{,}25\eta\right)\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = h_i\, N_{i,Rd}$ $M_{op,i,Rd} = 0$
Ruine par poinçonnement	
$\sigma_{\max}\, t_i = \left(N_{Sd} / A + M_{Rd} / W_{e\ell}\right) t_i \leq 2 t_0 \left(f_{y0} / \sqrt{3}\right)\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$	
Domaine de validité	Coefficient k_p
En complément des limites données dans le tableau K.5 : $\beta \geq 0{,}4$ et $\eta \leq 4$ où $\beta = b_i / d_0$ et $\eta = h_i / d_0$	Pour $n_p > 0$ (compression) : $k_p = 1 - 0{,}3\, n_p\, (1 + n_p)$ mais $k_p \leq 1{,}0$ Pour $n_p \leq 0$ (traction) : $k_p = 1{,}0$

Tableau K.8 : Résistances de calcul de noeuds soudés entre profils en I, H ou RHS et éléments en CHS

Ruine de la face de la membrure	
	$N_{i,Rd} = k_p\, f_{y0}\, t_0^{\,2}\left(4+20\beta^2\right)\left(1+0{,}25\eta\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = h_i\, N_{i,Rd} / \left(1+0{,}25\eta\right)$ $M_{op,i,Rd} = 0{,}5 b_i\, N_{i,Rd}$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{5k_p\, f_{y0}\, t_0^{\,2}}{1-0{,}81\beta}\left(1+0{,}25\eta\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = h_i\, N_{i,Rd} / \left(1+0{,}25\eta\right)$ $M_{op,i,Rd} = 0{,}5\, b_i\, N_{i,Rd}$
	$N_{i,Rd} = k_p\, f_{y0}\, t_0^{\,2}\left(4+20\beta^2\right)\left(1+0{,}25\eta\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = h_i\, N_{i,Rd}$ $M_{op,i,Rd} = 0{,}5\, b_i\, N_{i,Rd}$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{5k_p\, f_{y0}\, t_0^{\,2}}{1-0{,}81\beta}\left(1+0{,}25\eta\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = h_i\, N_{i,Rd}$ $M_{op,i,Rd} = 0{,}5\, b_i\, N_{i,Rd}$
Ruine par poinçonnement	
Pour profils en I ou H : $\sigma_{\max}\, t_i = \left(N_{Sd} / A + M_{Rd} / W_{e\ell}\right) t_i \le 2 t_0 \left(f_{y0} / \sqrt{3}\right)\left[1{,}1 / \gamma_{Mj}\right]$ Pour profils en RHS : $\sigma_{\max}\, t_i = \left(N_{Sd} / A + M_{Rd} / W_{e\ell}\right) t_i \le t_0 \left(f_{y0} / \sqrt{3}\right)\left[1{,}1 / \gamma_{Mj}\right]$	
Domaine de validité	Coefficient k_p
En complément des limites données dans le tableau K.5 : $\beta \ge 0{,}4$ et $\eta \le 4$ où $\beta = b_i / d_0$ et $\eta = h_i / d_0$	Pour $n_p > 0$ (compression) : $k_p = 1 - 0{,}3\, n_p\, (1 + n_p)$ mais $k_p \le 1{,}0$ Pour $n_p \le 0$ (traction) : $k_p = 1{,}0$

(3) Le moment fléchissant de calcul $M_{i,Sd}$ peut être pris comme la valeur existant à l'intersection de l'axe central de la barre de treillis et de la face de la membrure.

(4) Il convient d'obtenir le moment résistant de calcul dans le plan et le moment résistant de calcul hors du plan $M_{i,Rd}$ d'après les tableaux K.7, K.8 ou K.9 selon le cas.

(5) Pour les types particuliers de noeuds soudés indiqués dans le tableau K.10, Il convient de satisfaire les critères de calcul appropriés précisés pour chaque type dans ce tableau.

(6) Les valeurs du coefficient k_g qui est utilisé dans le tableau K.6 pour les noeuds en K, N et KT sont données dans la figure K.9. On utilise le coefficient k_g pour couvrir les noeuds aussi bien avec espacement qu'avec recouvrement en adoptant g à la fois pour l'espacement et le recouvrement, et en utilisant des valeurs négatives de g pour représenter le recouvrement q tel que défini dans la figure K.1(b).

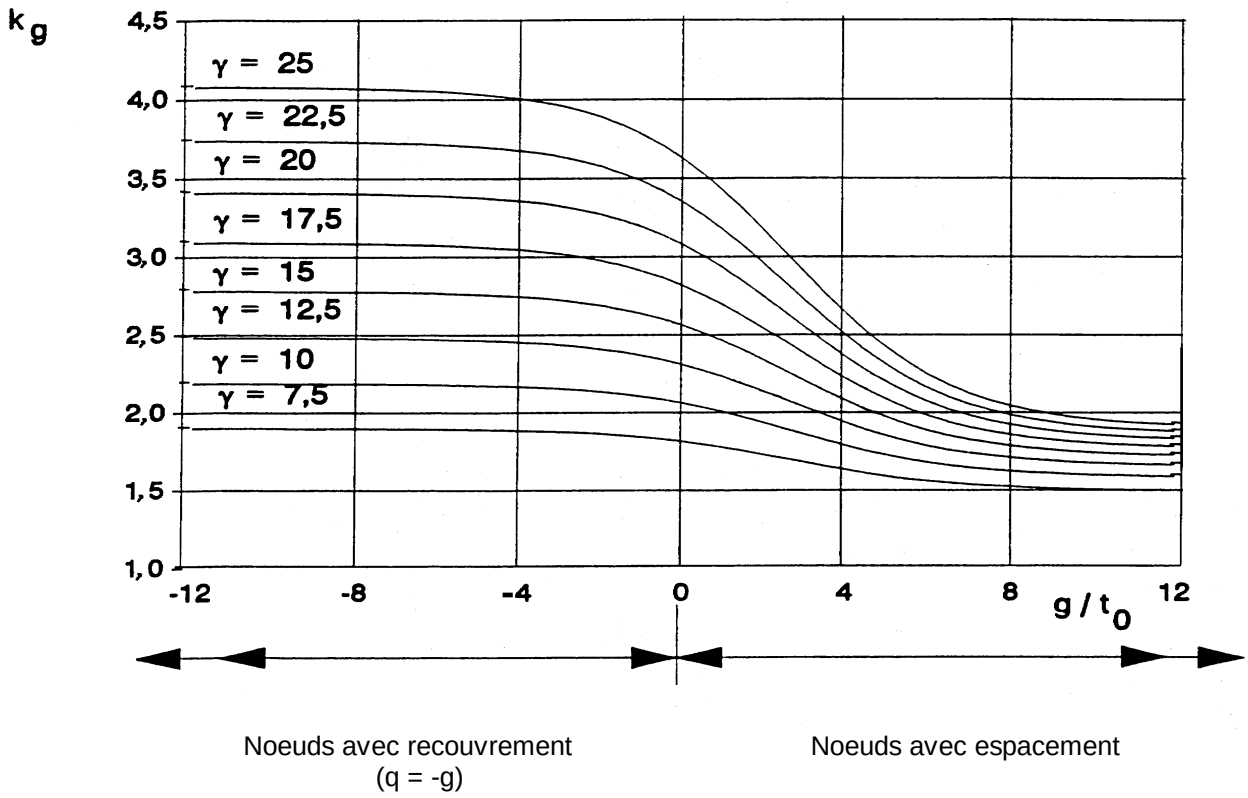


Figure K.9 : Valeurs du coefficient k_g pour l'utilisation dans le tableau K.6

Tableau K.9 : Moments résistants de calcul de noeuds soudés avec barres de treillis en CHS et membrures en CHS

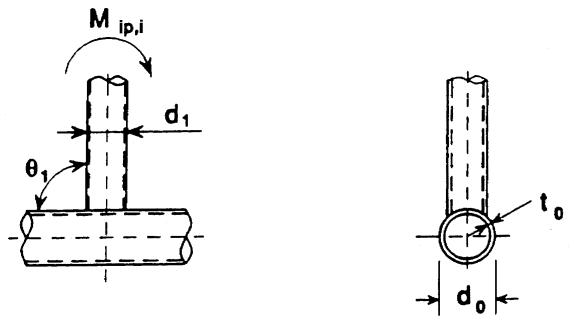
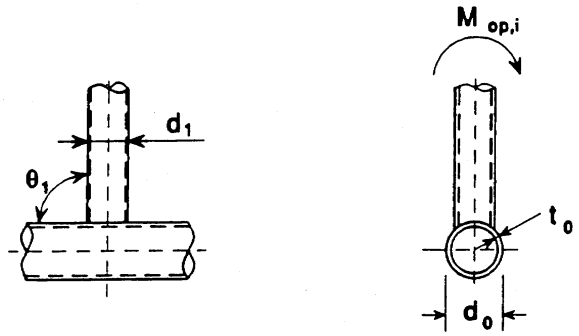
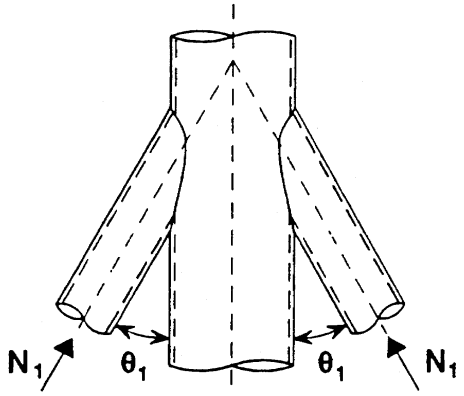
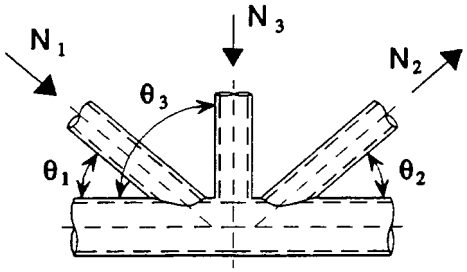
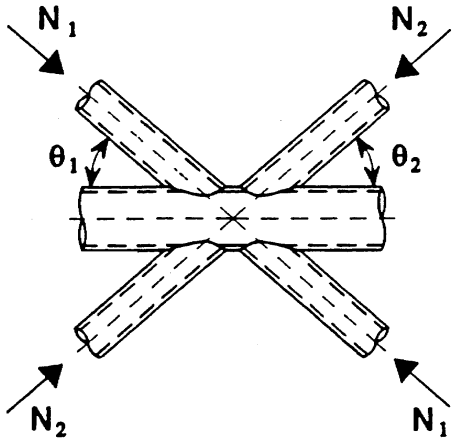
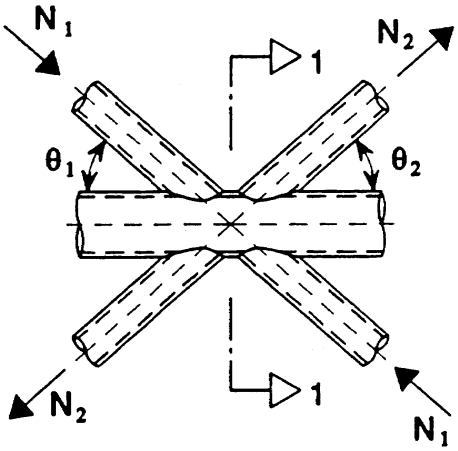
Ruine de la face de la membrure – Assemblages en T, X et Y [i = 1 ou 2]	
	$M_{ip,i,Rd} = 4{,}85 \dfrac{f_{y0}\, t_0^{\,2} d_i}{\sin\theta_i} \sqrt{\gamma}\, \beta\, k_p \left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
Ruine de la face de la membrure – Assemblages en K, N, T, X et Y [i = 1 ou 2]	
	$M_{op,i,Rd} = \dfrac{f_{y0}\, t_0^{\,2} d_i}{\sin\theta_i} \dfrac{2{,}7}{1-0{,}81\beta} k_p \left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
Ruine par poinçonnement – Assemblages avec espacement en K et N et tous assemblages en T, X et Y [i = 1 ou 2]	
Lorsque $d_i \le d_0 - 2t_0$: $M_{ip,i,Rd} = \dfrac{f_{y0}\, t_0 d_i^{\,2}}{\sqrt{3}} \dfrac{1+3\sin\theta_i}{4\sin^2\theta_i} \left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$ $M_{op,i,Rd} = \dfrac{f_{y0}\, t_0 d_i^{\,2}}{\sqrt{3}} \dfrac{3+\sin\theta_i}{4\sin^2\theta_i} \left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$	
Coefficient k_p	
Pour $n_p > 0$ (compression) : $k_p = 1 - 0{,}3\, n_p\, (1 + n_p)$ mais $k_p \le 1{,}0$ Pour $n_p \le 0$ (traction) : $k_p = 1{,}0$	

Tableau K.10 : Critères de calcul pour les types particuliers de noeuds soudés avec barres de treillis en CHS et membrures en CHS

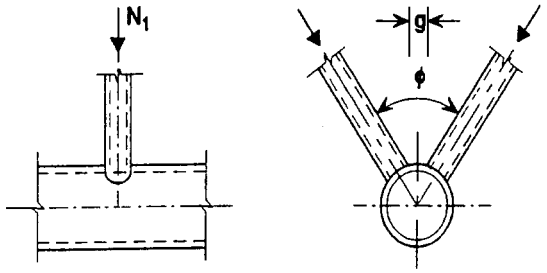
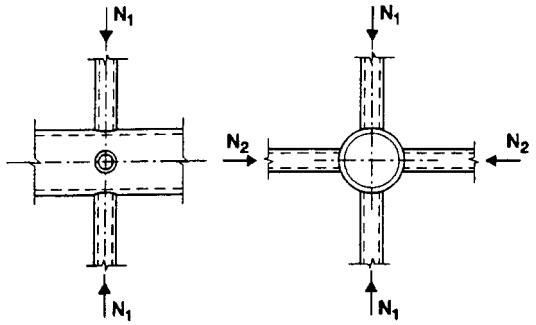
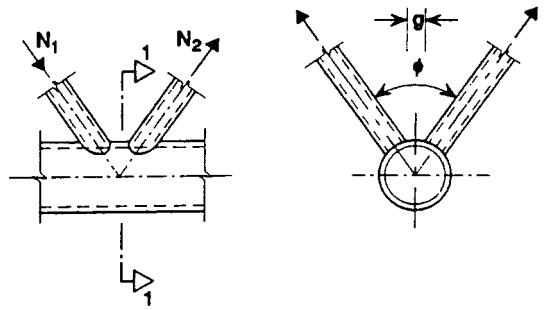
Type de nœud	Critères de calcul
	$N_{1,Sd} \leq N_{1,Rd}$ où $N_{1,Rd}$ est la valeur de $N_{1,Rd}$ pour un noeud en X d'après le tableau K.6.
	$N_{1,Sd} \sin \theta_1 + N_{3,Sd} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Sd} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ où $N_{1,Rd}$ est la valeur de $N_{1,Rd}$ pour un noeud en K d'après le tableau K.6 mais avec d_1 / d_0 remplacé par : $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$
	$N_{1,Sd} \sin \theta_1 + N_{2,Sd} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ où $N_{x,Rd}$ est la valeur de $N_{x,Rd}$ pour un noeud en X d'après le tableau K.6, où $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ est la plus grande valeur de : $\lvert N_{1,Rd} \sin \theta_1 \rvert$ et $\lvert N_{2,Rd} \sin \theta_2 \rvert$
	$N_{i,Sd} \leq N_{i,Rd}$ où $N_{i,Rd}$ est la valeur de $N_{i,Rd}$ pour un noeud en K d'après le tableau K.6, à condition que, dans un noeud avec espacement, au niveau de la section 1-1, la membrure satisfasse : $\left[\frac{N_{0,Sd}}{N_{0,p\ell,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{V_{0,Sd}}{V_{0,p\ell,Rd}}\right]^2 \leq 1{,}0$

K.6.3 Noeuds multiplans

(1) Dans chaque plan approprié d'un noeud multiplan, il convient que les critères de calcul donnés en K.6.2 soient satisfaits en utilisant les résistances de calcul réduites obtenues d'après (2).

(2) Il convient que les résistances de calcul pour chaque plan approprié d'un noeud multiplan soient déterminées en appliquant le coefficient réducteur μ approprié donné dans le tableau K.11 à la résistance du noeud plan correspondant calculée au moyen de K.6.2.

Tableau K.11 : Coefficients réducteurs pour noeuds multiplans

Type de noeud	Coefficient réducteur μ
Noeud en TT	$60° \leq \phi \leq 90°$
	$\mu = 1{,}0$
Noeud en XX	
	$\mu = 1 + 0{,}33\ N_{2,Sd} / N_{1,Sd}$ en tenant compte du signe de $N_{1,Sd}$ et de $N_{2,Sd}$ où $\lvert N_{2,Sd} \rvert \leq \lvert N_{1,Sd} \rvert$
Noeud en KK	$60° \leq \phi \leq 90°$
	$\mu = 0{,}9$ à condition que, dans un noeud avec espacement, au niveau de la section 1-1, la membrure satisfasse : $\left[\frac{N_{0,Sd}}{N_{p\ell,0,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{V_{0,Sd}}{V_{p\ell,0,Rd}}\right]^2 \leq 1{,}0$

K.7 Noeuds soudés avec barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en RHS

K.7.1 Généralités

(1) À condition que la géométrie des noeuds soit dans le domaine de validité donné dans le tableau K.12, les résistances de calcul des noeuds soudés avec barres de treillis en profil creux et membrures en profil creux rectangulaire ou carré peuvent être déterminées à l'aide de K.7.2 et K.7.3.

Tableau K.12 : Domaine de validité pour les noeuds soudés avec barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en CHS

Type de noeud	Paramètres de noeud [i = 1 ou 2, j = barre de treillis recouverte]					
	b_i / b_0 ou d_i / b_0	b_i / t_i et h_i / t_i ou d_i / t_i		h_0 / b_0 et h_i / b_i	b_0 / t_0 et h_0 / t_0	Espacement ou recouvrement b_i / b_j
		Compression	Traction			
T, Y ou X	$b_i / b_0 \geq 0{,}25$	$b_i / t_i \leq 1{,}25\sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$ et ≤ 35 et $h_i / t_i \leq 1{,}25\sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$ et ≤ 35	$b_i / t_i \leq 35$ et $h_i / t_i \leq 35$	$\geq 0{,}5$ mais $\leq 2{,}0$	≤ 35	-
K avec espacement N avec espacement	$b_i / b_0 \geq 0{,}35$ et $\geq 0{,}1 + 0{,}01\, b_0 / t_0$				≤ 35	$g / b_0 \geq 0{,}5\,(1 - \beta)$ mais $\leq 1{,}5\,(1 - \beta)$ [1] et $g \geq t_1 + t_2$
K avec recouvrement N avec recouvrement	$b_i / b_0 \geq 0{,}25$	$b_i / t_i \leq 1{,}1\sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$ et $h_i / t_i \leq 1{,}1\sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$			≤ 40	$\lambda_{ov} \geq 25\ \%$ mais $\lambda_{ov} \leq 100\ \%$ [2] et $b_i / b_j \geq 0{,}75$
Barre de treillis circulaire	$d_i / b_0 \geq 0{,}4$ mais $\leq 0{,}8$	$d_i / t_i \leq 1{,}5\sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$	$d_i / t_i \leq 50$	Comme ci-dessus, mais d_i au lieu de b_i et d_j au lieu de b_j		

[1] Lorsque $g / b_0 > 1{,}5\,(1 - \beta)$ traiter le noeud comme deux noeuds en T ou en Y séparés.

[2] Le recouvrement peut être augmenté pour permettre le soudage du pied de la barre de treillis recouverte sur la membrure.

(2) Pour les noeuds se situant dans le domaine de validité donné dans le tableau K.12, il convient de ne prendre en compte que les critères de calcul couverts dans le tableau approprié. Il convient que la résistance de calcul d'un noeud soit prise égale à la plus faible valeur pour tous les critères applicables.

(3) Pour les noeuds hors du domaine de validité donné dans le tableau K.12, il convient de prendre en compte tous les critères donnés en K.4.4. En outre, il convient de tenir compte des moments secondaires s'exerçant dans les noeuds en raison de leur rigidité de flexion.

K.7.2 Noeuds plans

K.7.2.1 Noeuds non renforcés

(1) Dans les noeuds soumis uniquement à des efforts axiaux, Il convient que l'effort axial de calcul $N_{i,Sd}$ ne dépasse pas la résistance axiale de calcul du noeud soudé $N_{i,Rd}$, déterminée d'après (2) ou (4) selon le cas.

(2) Pour les noeuds soudés avec barres de treillis en profil creux circulaire ou carré et membrures en profil creux carré uniquement, lorsque la géométrie des noeuds se situe dans le domaine de validité donné dans le tableau K.12 et satisfait également les conditions supplémentaires énoncées dans le tableau K.13, les résistances axiales de calcul peuvent être déterminées à partir des expressions données dans le tableau K.14.

Tableau K.13 : Conditions supplémentaires pour l'utilisation du tableau K.14

Type de barre de treillis	Type de noeud	Paramètres de nœud	
Profil creux carré	T, Y ou X	$b_i / b_0 \leq 0{,}85$	$b_0 / t_0 \geq 10$
	K avec espacement ou N avec espacement	$0{,}6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1{,}3$	$b_0 / t_0 \geq 15$
Profil creux circulaire	T, Y ou X	-	$d_0 / t_0 \geq 10$
	K avec espacement ou N avec espacement	$0{,}6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1{,}3$	$d_0 / t_0 \geq 15$

(3) Pour les noeuds se situant dans le domaine de validité du tableau K.13, les seuls critères à prendre en compte sont la ruine de la face de la membrure et la ruine de la barre de treillis avec largeur efficace réduite. Il convient que la résistance axiale de calcul soit prise égale à la plus faible valeur pour ces deux critères.

NOTE Les résistances axiales de calcul pour les noeuds des barres de treillis en profil creux sur des membrures en profil creux données dans le tableau K.14 ont été simplifiées par omission des critères de calcul qui ne sont jamais déterminants à l'intérieur du domaine de validité du tableau K.13.

(4) Les résistances axiales de calcul de tout noeud soudé non renforcé entre barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en RHS, à l'intérieur du domaine de validité du tableau K.12, peuvent être déterminées à l'aide des expressions données dans les tableaux K.15, K.16 ou K.17 selon le cas. Pour les noeuds renforcés, voir K.7.2.2.

Tableau K.14 : Résistances axiales de calcul de noeuds soudés avec barres de treillis en profil creux carré ou circulaire et membrures en profil creux carré

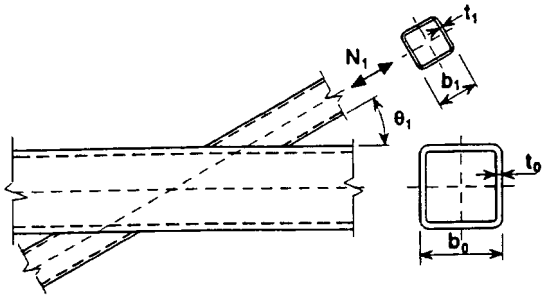
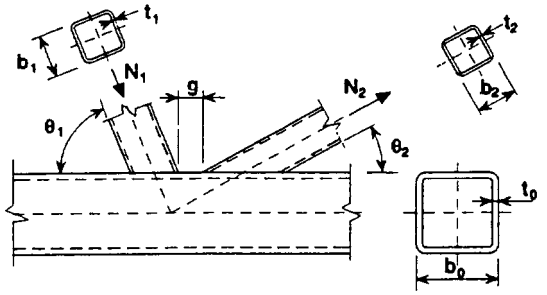
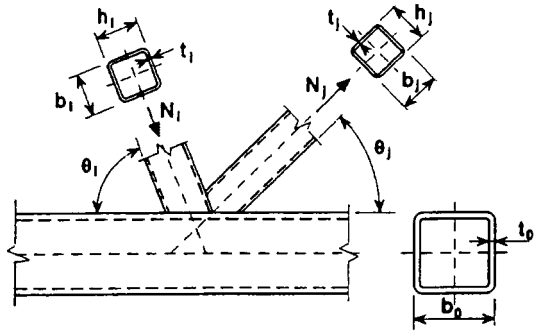
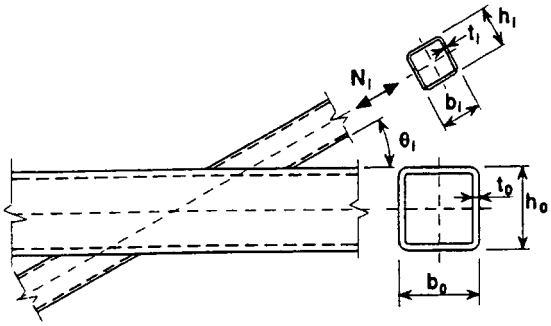
Type de noeud	Résistance de calcul [i = 1 ou 2, j = recouverte]
Noeuds en T, Y et X	Ruine de la face de la membrure $\beta \leq 0{,}85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta)\sin\theta_i}\left(\frac{2\beta}{\sin\theta_i} + 4(1-\beta)^{0,5}\right)\left[\frac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
Noeuds avec espacement en K et N	Ruine de la face de la membrure $\beta \leq 1{,}0$
	$N_{i,Rd} = \frac{8{,}9\,\gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin\theta_i}\left(\frac{b_1+b_2}{2b_0}\right)\left[\frac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
Noeuds avec recouvrement en K et N *)	Ruine de la barre de treillis 25 % ≤ λ_{ov} < 50 %
	$N_{i,Rd} = f_{yi}\, t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov}}{50}(2h_i - 4t_i)\right)\left[\frac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
	Ruine de la barre de treillis 50 % ≤ λ_{ov} < 80 %
	$N_{i,Rd} = f_{yi}\, t_i \left[b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i\right]\left[1{,}1 / \gamma_{Mj}\right]$
	Ruine de la barre de treillis $\lambda_{ov} \geq 80$ %
	$N_{i,Rd} = f_{yi}\, t_i \left[b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i\right]\left[1{,}1 / \gamma_{Mj}\right]$
Paramètres b_{eff} , $b_{e,ov}$ et k_n	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0}\,\frac{f_{y0}\, t_0}{f_{yi}\, t_i}\, b_i$ mais $b_{eff} \leq b_i$	Pour $n > 0$ (compression) : $k_n = 1{,}3 - (0{,}4n / \beta)$ mais $k_n \leq 1{,}0$
$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j}\,\frac{f_{yj}\, tj}{f_{yi}\, t_i}\, b_i$ mais $b_{e,ov} \leq b_i$	Pour n ≤ 0 (traction) : $k_n = 1{,}0$
Pour les barres de treillis circulaires, multiplier les résistances ci-dessus par $\pi/4$, remplacer b_1 et h_1 par d_1 , et remplacer b_2 et h_2 par d_2.	
*) Seule la barre de treillis recouvrante nécessite d'être vérifiée. L'efficacité de barre recouverte (c'est-à-dire la résistance de calcul du noeud divisée par la résistance plastique de calcul de l'entretoise) doit être prise égale à celle de la barre recouvrante.	

Tableau K.15 : Résistances axiales de calcul de noeuds soudés en T, X et Y avec barres de treillis en RHS ou CHS et membrures en RHS

Type de noeud	Résistance de calcul [i = 1 ou 2]
	Ruine de la face de la membrure $\beta \le 0{,}85$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta)\sin\theta_i}\left(\dfrac{2h_i/b_0}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1-\beta}\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
	Flambement de la paroi latérale de la membrure[1)] $\beta = 1{,}0$[2)]
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_b t_0}{\sin\theta_i}\left(\dfrac{2h_i}{\sin\theta_i} + 10t_0\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
	Ruine de la barre de treillis $\beta \ge 0{,}85$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(2h_i - 4t_i + 2b_{eff}\right)\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$
	Poinçonnement $0{,}85 \le \beta \le (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}\sin\theta_i}\left(\dfrac{2h_i}{\sin\theta_i} + 2b_{e,p}\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$

[1)] Pour les noeuds en X avec θ < 90°, utiliser la plus faible de cette valeur et de la résistance au cisaillement des parois latérales de la membrure donnée pour les noeuds en K et N avec espacement dans le tableau K.16.

[2)] Pour $0{,}85 \le \beta \le 1{,}0$ utiliser une interpolation linéaire entre la valeur pour la ruine de la face de la membrure à β = 0,85 et la valeur pour la ruine de la paroi latérale de la membrure à β = 1,0 (flambement de la paroi latérale ou cisaillement de la membrure).

Pour les barres circulaires, multiplier les résistances ci-dessus par π/4, remplacer b_1 et h_1 par d_1 , et remplacer b_2 et h_2 par d_2.

Pour la traction : $f_b = f_{y0}$ Pour la compression : $f_b = \chi f_{y0}$ (noeuds en T et Y) $f_b = 0{,}8\,\chi f_{y0}\sin\theta_i$ (noeuds en X) où χ représente le coefficient de réduction pour le flambement par flexion obtenu d'après le tableau 5.5.2 à l'aide de la courbe de flambement appropriée tirée du tableau 5.5.3 et un élancement $\bar{\lambda}$ déterminé à partir de : $\bar{\lambda} = 3{,}46\dfrac{\left(\dfrac{h_0}{t_0} - 2\right)\sqrt{\dfrac{1}{\sin\theta_i}}}{\pi\sqrt{\dfrac{E}{f_{y0}}}}$	$b_{eff} = \dfrac{10}{b_0/t_0}\dfrac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i$ mais $b_{eff} \le b_i$
	$b_{e,p} = \dfrac{10}{b_0/t_0} b_i$ mais $b_{e,p} \le b_i$
	$\gamma = \dfrac{b_0}{2t_0}$
	Pour n > 0 (compression) : $k_n = 1{,}3 - (0{,}4n/\beta)$ mais $k_n \le 1{,}0$ Pour n ≤ 0 (traction) : $k_n = 1{,}0$

Tableau K.16 : Résistances axiales de calcul de noeuds soudés en K et N avec barres de treillis en RHS ou CHS et membrures en RHS

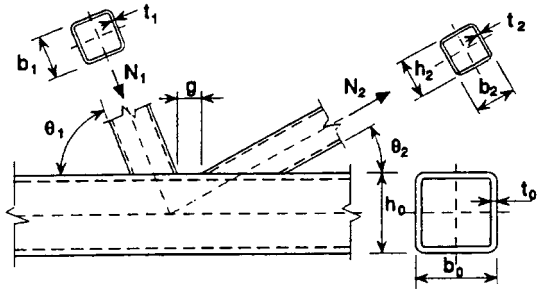
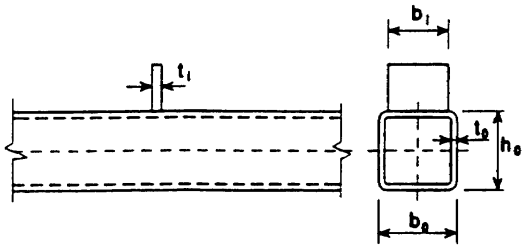
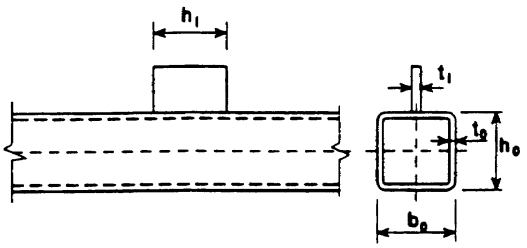
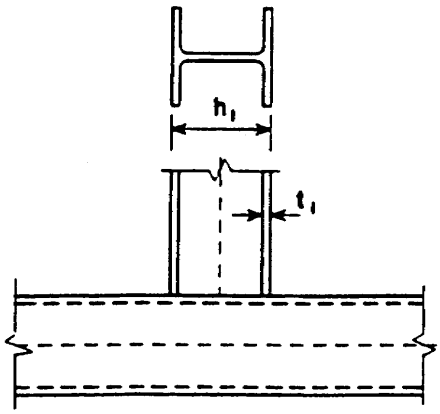
Type de noeud	Résistance de calcul [i = 1 ou 2]
Noeuds en K et N	Ruine de la face de la membrure
	$N_{i,Rd} = \dfrac{8{,}9\, k_n\, f_{y0}\, t_0^{\,2} \sqrt{\gamma}}{\sin\theta_i} \left(\dfrac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4\, b_0} \right) \left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}} \right]$
	Cisaillement de la membrure
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0}\, A_v}{\sqrt{3}\, \sin\theta_i} \left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}} \right]$
	Ruine de la barre de treillis
	$N_{i,Rd} = f_{yi}\, t_i \left(2\, h_i - 4\, t_i + b_i + b_{eff} \right) \left[1{,}1 / \gamma_{Mj} \right]$
	Poinçonnement $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0}\, t_0}{\sqrt{3}\, \sin\theta_i} \left(\dfrac{2\, h_i}{\sin\theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) \left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}} \right]$
Noeuds en K et N avec recouvrement	Comme dans le tableau K.14
Pour les barres de treillis circulaires, multiplier les résistances ci-dessus par $\pi/4$, remplacer b_1 et h_1 par d_1 , et remplacer b_2 et h_2 par d_2.	
$A_v = (2h_0 + \alpha b_0)\, t_0$ Pour une barre de treillis carrée ou rectangulaire : $\alpha = \sqrt{\dfrac{1}{1 + \dfrac{4\, g^2}{3\, t_0^{\,2}}}}$ où g représente l'espacement, voir figure K.1(a). Pour une barre de treillis circulaire : $\alpha = 0$	$b_{eff} = \dfrac{10}{b_0 / t_0} \dfrac{f_{y0}\, t_0}{f_{yi}\, t_i}\, b_i$ mais $b_{eff} \leq b_i$ $b_{e,p} = \dfrac{10}{b_0 / t_0}\, b_i$ mais $b_{e,p} \leq b_i$ Pour $n > 0$ (compression) : $k_n = 1{,}3 - (0{,}4n / \beta)$ mais $k_n \leq 1{,}0$
$\gamma = \dfrac{b_0}{2\, t_0}$	Pour $n \leq 0$ (traction) : $k_n = 1{,}0$

Tableau K.17 : Résistances de calcul de noeuds avec goussets ou profils en I ou H soudés sur des membrures en RHS

Gousset transversal	Ruine de l'entretoise
	$N_{i,Rd} = f_{yi}\ t_i\ b_{eff}\ [1{,}1 / \gamma_{Mj}]$ *)
	Écrasement de la paroi latérale de la membrure lorsque $b_i \geq b_0 - 2t_0$
	$N_{i,Rd} = f_{y0}\ t_0\ (2\ t_i + 10\ t_0)\ [1{,}1 / \gamma_{Mj}]$
	Poinçonnement lorsque $b_i \leq b_0 - 2t_0$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0}\ t_0}{\sqrt{3}}\ (2\,t_i + 2\,b_{e,p})[1{,}1/\gamma_{Mj}]$
Gousset longitudinal	Ruine de la face de membrure $\beta \leq 0{,}85$
$t_i / b_0 \leq 0{,}2$ 	$N_{i,Rd} = \dfrac{k_m\ f_{y0}\ t_0^2}{1 - t_i / b_0}\left(2\,h_i / b_0 + 4\sqrt{1 - t_i / b_0}\right)\left[\dfrac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$ $M_{ip,i,Rd} = 0{,}5\ N_{i,Rd}\ h_i$
Profil en I ou H	
	Par sécurité, baser $N_{i,Rd}$ pour un profil en I ou H sur la résistance de calcul de deux plats transversaux semblables à ses ailes, déterminée comme indiqué ci-dessus. $M_{ip,i,Rd} = N_{i,Rd}\ (h_i - t_i)$
Domaine de validité	
En complément aux limites données dans le tableau K.12 : $0{,}5 \leq \beta \leq 1{,}0$ $b_0 / t_0 \leq 30$	
Paramètres b_{eff} , $b_{e,p}$ et k_m	
$b_{eff} = \dfrac{10}{b_0 / t_0}\ \dfrac{f_{y0}\ t_0}{f_{yi}\ t_i}\ b_i$ mais $b_{eff} \leq b_i$	Pour $n > 0$ (compression) : $k_m = 1{,}3 - (1 - n)$ mais $k_m \leq 1{,}0$
$b_{e,ov} = \dfrac{10}{b_j / t_j}\ \dfrac{f_{yj}\ t_j}{f_{yi}\ t_i}\ b_i$ mais $b_{e,ov} \leq b_i$	Pour $n \leq 0$ (traction) : $k_m = 1{,}0$
*) Les soudures d'angle doivent être dimensionnées conformément à 6.6.8.	

(5) Il convient que les assemblages de barres de treillis soumis à une combinaison d'effort axial et de flexion satisfassent :

$$\frac{N_{i,Sd}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Sd}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Sd}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad \text{(K.5)}$$

où :

$M_{ip,i,Rd}$: moment résistant de calcul dans le plan ;

$M_{ip,i,Sd}$: moment fléchissant de calcul dans le plan ;

$M_{op,i,Rd}$: moment résistant de calcul hors du plan ;

et $M_{op,i,Sd}$: moment fléchissant de calcul hors du plan.

(6) Le moment fléchissant de calcul $M_{i,Sd}$ peut être pris égal à la valeur existant à l'intersection de l'axe central de la barre de treillis et de la face de la membrure.

(7) Pour les noeuds non renforcés, il convient d'obtenir le moment résistant de calcul dans le plan et le moment résistant hors du plan $M_{i,Rd}$ d'après les tableaux K.17 ou K.18 selon le cas. Pour les noeuds renforcés, voir K.7.2.2.

(8) Pour les types particuliers de noeuds soudés indiqués dans les tableaux K.19 et K.20, il convient de satisfaire les critères de calcul appropriés précisés pour chaque type dans ce tableau.

(9) Dans un noeud de type à espacement, Il convient de déterminer la résistance axiale de calcul de la section transversale de la membrure $N_{0,Rd}$ en tenant compte de l'effort tranchant transmis entre les barres de treillis par la membrure, en négligeant le moment secondaire associé, de la façon suivante :

- lorsque $V_{Sd} / V_{pl,Rd} \leq 0{,}5$:

$$N_{0,Rd} = A_0 \, f_{y0} / \gamma_{M0} \qquad \text{(K.6a)}$$

- lorsque $V_{Sd} / V_{pl,Rd} > 0{,}5$:

$$N_{0,Rd} = [A_0 - A_v (2 \, V_{Sd} / V_{pl,Rd} - 1)^2] \, f_{y0} / \gamma_{M0} \qquad \text{(K.6b)}$$

K.7.2.2 Noeuds renforcés

(1) Trois types de renforcement de noeud peuvent être utilisés. Le type approprié dépend du mode de ruine qui, en l'absence de renfort, gouverne la résistance de calcul du noeud.

(2) On peut utiliser des plats de renfort de semelles pour augmenter la résistance du noeud vis-à-vis de la ruine de la face de la membrure, de la ruine par poinçonnement, ou de la ruine de la barre de treillis avec largeur efficace réduite.

(3) On peut utiliser une paire de plats latéraux pour renforcer un noeud contre la ruine de la paroi de la membrure ou par cisaillement de la membrure.

(4) Afin d'éviter le recouvrement partiel des barres de treillis dans un noeud en K ou en N, les barres de treillis peuvent être soudées à un raidisseur vertical.

(5) On peut également utiliser une combinaison quelconque de ces trois types de renforcement de noeud.

(6) Il ne convient pas d'utiliser pour le renforcement une nuance d'acier inférieure à celle de la membrure.

(7) Il convient de déterminer les résistances de calcul des noeuds renforcés à l'aide des tableaux K.21 et K.22.

Tableau K.18 : Moments résistants de calcul de noeuds soudés avec barres de treillis en RHS et membrures en RHS

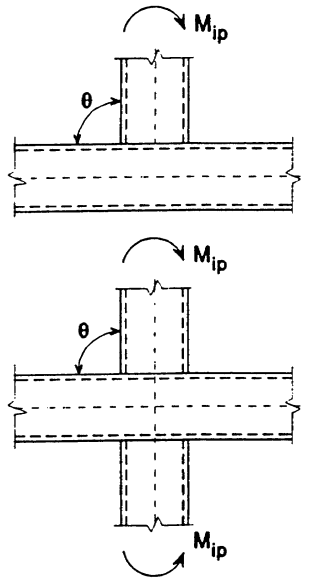
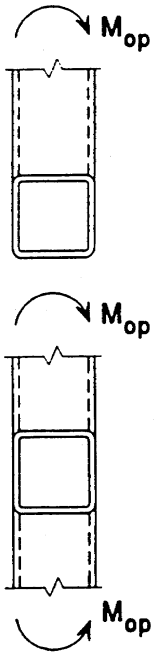
Noeuds en T et X	Résistance de calcul [i = 1 ou 2]
Moments dans le plan ($\theta \approx 90°$)	Ruine de la face de la membrure $\beta \leq 0{,}85$
	$M_{ip,i,Rd} = k_n\ f_{y0}\ t_0^2\ h_i \left(\frac{1-\beta}{2\,h_i\,/\,b_0} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{h_i\,/\,b_0}{1-\beta} \right) \left[\frac{1{,}1}{\gamma_{Mj}} \right]$
	Ecrasement de la paroi latérale de la membrure $0{,}85 \leq \beta \leq 1{,}0$
	$M_{ip,i,Rd} = 0{,}5\ f_{yk}\ t_0\ (h_i + 5\ t_0)^2\ [1{,}1\ /\ \gamma_{Mj}]$ $f_{yk} = f_{y0}$ pour les noeuds en T $f_{yk} = 0{,}8\ f_{y0}$ pour les noeuds en X
	Ruine de l'entretoise $0{,}85 \leq \beta \leq 1{,}0$
	$M_{ip,i,Rd} = f_{yi} \left(W_{pl,i} - \left(1 - b_{eff}\ /\ b_i\right) b_i\ h_i\ t_i \right)\ [1{,}1\ /\ \gamma_{Mj}]$
Moments hors du plan ($\theta \approx 90°$)	Ecrasement de la paroi latérale de la membrure $0{,}85 \leq \beta \leq 1{,}0$
	$M_{op,i,Rd} = f_{yk}\ t_0\ (b_0 - t_0)\ (h_i + 5\ t_0)\ [1{,}1\ /\ \gamma_{Mj}]$ $f_{yk} = f_{y0}$ pour les noeuds en T $f_{yk} = 0{,}8\ f_{y0}$ pour les noeuds en X
	Ruine par distorsion de la membrure (Noeuds en T uniquement)*)
	$M_{op,i,Rd} = 2 f_{y0}\ t_0 \left(h_i\ t_0 + \left(b_0\ h_0\ t_0\ (b_0 + h_0) \right)^{0{,}5} \right)\ [1{,}1\ /\ \gamma_{Mj}]$
	Ruine de l'entretoise $0{,}85 \leq \beta \leq 1{,}0$
	$M_{op,i,Rd} = f_{yi} \left(W_{pl,i} - 0{,}5 \left(1 - b_{eff}\ /\ b_i\right)^2\ b_i^2\ t_i \right)\ [1{,}1\ /\ \gamma_{Mj}]$
Paramètres b_{eff} et k_n	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0\,/\,t_0}\ \frac{f_{y0}\,t_0}{f_{yi}\,t_i}\ b_i$ mais $b_{eff} \leq b_i$	Pour $n > 0$ (compression) : $k_n = 1{,}3 - (0{,}4\ n\ /\ \beta)$ mais $k_n \leq 1{,}0$ Pour $n \leq 0$ (traction) : $k_n = 1{,}0$
*) Ce critère ne s'applique pas lorsque la ruine par distorsion de la membrure est empêchée par d'autres moyens.	

Tableau K.19 : Critères de calcul pour les types particuliers de noeuds soudés avec barres de treillis en RHS et membrures en RHS

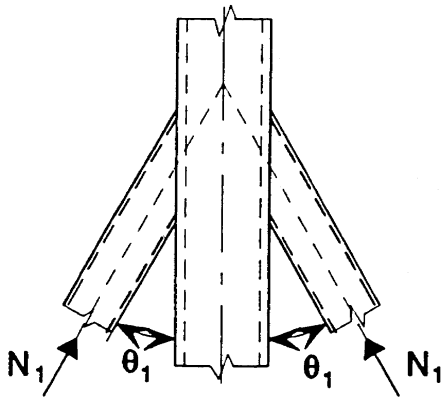
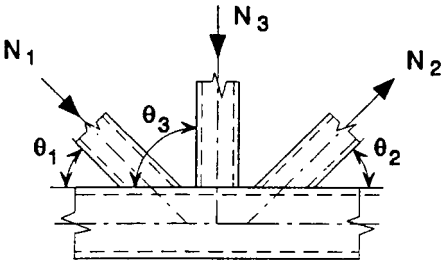
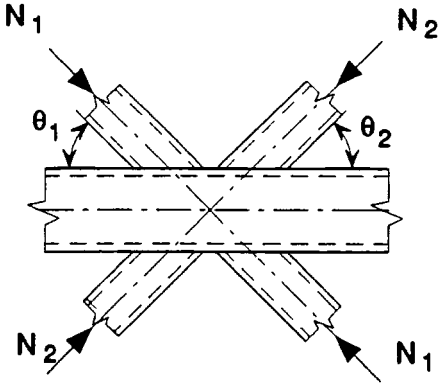
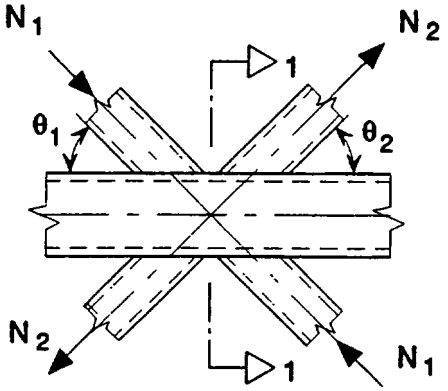
Type de noeud	Critères de calcul
	$N_{1,Sd} \leq N_{1,Rd}$ où $N_{1,Rd}$ est la valeur de $N_{1,Rd}$ pour un noeud en X d'après le tableau K.15.
	$N_{1,Sd}$ sin θ_1 + $N_{3,Sd}$ sin $\theta_3 \leq$ $N_{1,Rd}$ sin θ_1 $N_{2,Sd}$ sin $\theta_2 \leq N_{1,Rd}$ sin θ_1 où $N_{1,Rd}$ est la valeur de $N_{1,Rd}$ pour un noeud en K d'après le tableau K.16 mais avec $\frac{b_1+b_2+h_1+h_2}{4b_0}$ remplacé par : $\frac{b_1+b_2+b_3+h_1+h_2+h_3}{6b_0}$
	$N_{1,Sd}$ sin θ_1 + $N_{2,Sd}$ sin $\theta_2 \leq N_{x,Rd}$ sin θ_x Où $N_{x,Rd}$ est la valeur de $N_{x,Rd}$ pour un noeud en X d'après le tableau K.15, où $N_{x,Rd}$ sin θ_x est la plus grande valeur de : $\lvert N_{1,Rd} \sin \theta_1 \rvert$ et $\lvert N_{2,Rd} \sin \theta_2 \rvert$
	$N_{1,Sd} \leq N_{1,Rd}$ où $N_{1,Rd}$ est la valeur de $N_{1,Rd}$ pour un noeud en K d'après le tableau K.16, à condition que, dans un noeud de type avec espacement, au niveau de la section 1-1, la membrure satisfasse : $\left[\frac{N_{0,Sd}}{N_{0,p\ell,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{V_{0,Sd}}{V_{0,p\ell,Rd}}\right]^2 \leq 1{,}0$

Tableau K.20 : Critères de calcul pour les noeuds soudés “ de jarret ” et de membrure brisée d'éléments en RHS

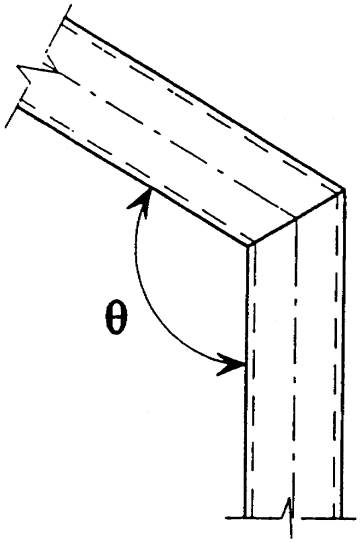
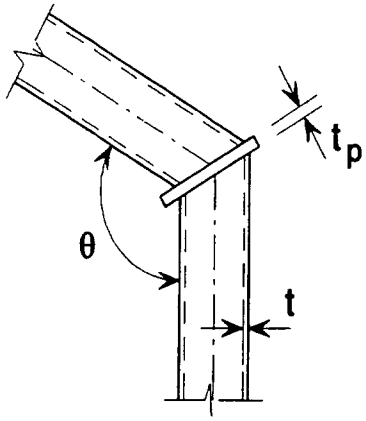
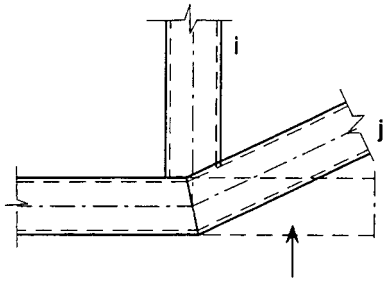
Type de noeud	Critères de calcul
Noeuds soudés “ de jarret ”	
	Il convient que la section transversale soit de Classe 1 pour la flexion pure, voir 5.3. $N_{Sd} \leq 0{,}2\ N_{pl,Rd}$ et $\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa$ Si $\theta \leq 90°$: $\kappa = \frac{3\sqrt{b_0 / h_0}}{[b_0 / t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1 + 2 b_0 / h_0}$ Si $90° < \theta \leq 180°$: $\kappa = 1 - (\sqrt{2}\cos(\theta/2))\,(1 - \kappa_{90})$ où κ_{90} est la valeur de κ pour $\theta = 90°$.
	$t_p \geq 1{,}5\ t$ et ≥ 10 mm $\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$
Membrure brisée	
 Extension imaginaire de la membrure	$N_{i,Sd} \leq N_{i,Rd}$ où $N_{i,Rd}$ est la valeur de $N_{i,Rd}$ pour un noeud en K ou N avec recouvrement d'après le tableau K.16.

Tableau K.21 : Résistances de calcul de noeuds soudés en T, Y et X renforcés avec barres de treillis en RHS ou CHS et membrures en RHS

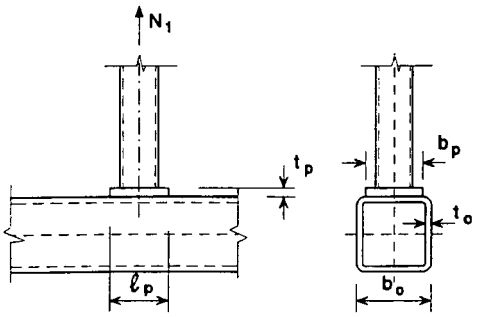
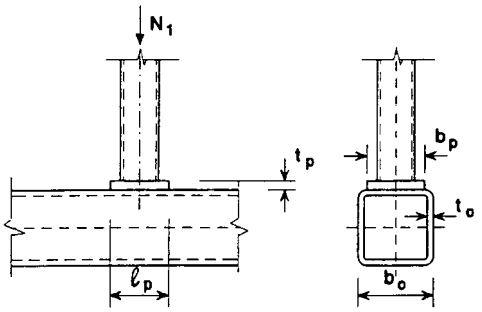
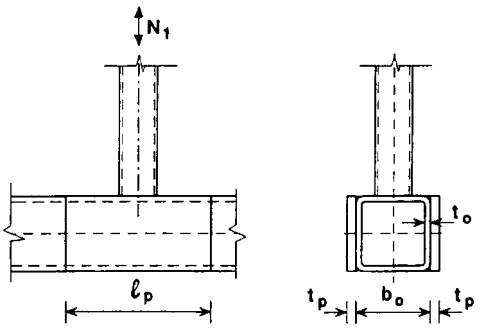
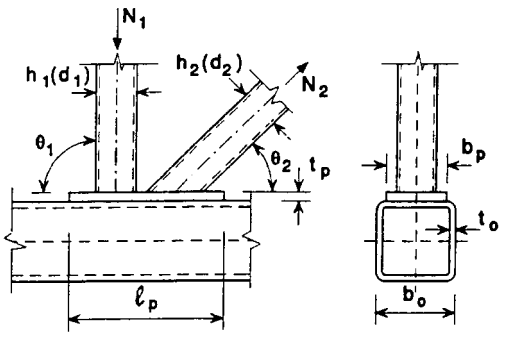
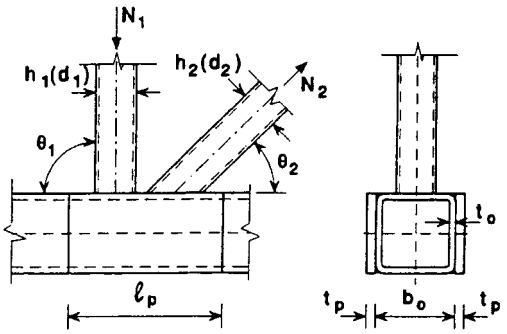
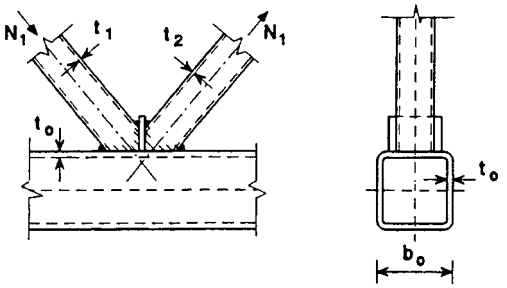
Type de noeud	Résistance de calcul (i = 1 ou 2)
Renforcé à l'aide de plats de semelles pour éviter la ruine de la face de la membrure, la ruine de l'entretoise ou le poinçonnement.	
Effort de traction	$\beta_p \leq$ 0,85
	$\ell_p \geq \frac{h_i}{\sin\theta_i} + \sqrt{b_p(b_p - b_i)}$ et $\geq$ 1,5 h_i / sinθ_i $b_p \geq b_0 - 2\,t_0$ $N_{i,Rd} = \frac{f_{yp}\,t_p^{\,2}}{(1 - b_i/b_p)\sin\theta_i} \times$ $\left(\frac{2\,h_i/b_p}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1 - b_i/b_p}\right)\left[\frac{1{,}1}{\gamma_{Mj}}\right]$
Effort de compression	$\beta_p \leq$ 0,85
	$\ell_p \geq \frac{h_i}{\sin\theta_i} + \sqrt{b_p(b_p - b_i)}$ et $\geq$ 1,5 h_i / sinθ_i $b_p \geq b_0 - 2\,t_0$ Prendre $N_{i,Rd}$ égal à la valeur de $N_{i,Rd}$ pour un assemblage en T, X ou Y d'après le tableau K.15, mais avec k_n = 1,0 et t_0 remplacé par t_p pour la ruine de la face de la membrure, la ruine de l'entretoise, et le poinçonnement.
Renforcé à l'aide de plats latéraux pour éviter le flambement de la paroi latérale de la membrure ou le cisaillement de la paroi latérale de la membrure.	
	$\ell_p \geq$ 1,5 h_i / sinθ_i Prendre $N_{i,Rd}$ égal à la valeur de $N_{i,Rd}$ pour un assemblage en T, X ou Y d'après le tableau K.15, mais avec t_0 remplacé par (t_0 + t_p) pour la ruine par flambement de la paroi latérale de la membrure et la ruine par cisaillement de la paroi latérale de la membrure uniquement.

Tableau K.22 : Résistances de calcul de noeuds soudés en K et N renforcés avec barres de treillis en RHS ou CHS et membrures en RHS

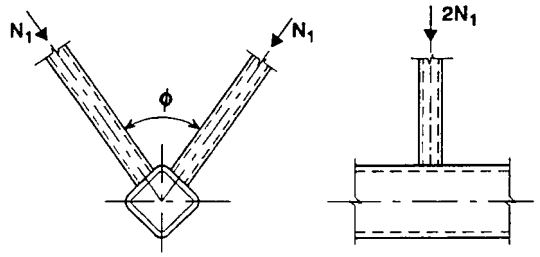
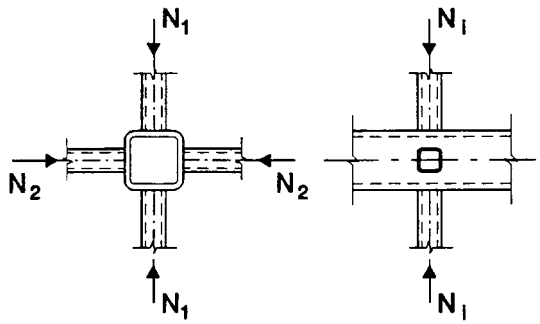
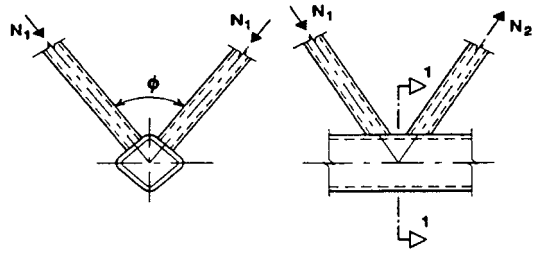
Type de noeud	Résistance de calcul [i = 1 ou 2]
Renforcé à l'aide de plats de semelles pour éviter la ruine de la face de la membrure, la ruine de l'entretoise ou le poinçonnement.	
	$\ell_p \geq 1{,}5\left(\frac{h_1}{\sin\theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin\theta_2}\right)$ $b_p \geq b_0 - 2\,t_0$ $t_p \geq 2t_1$ et $2\,t_2$ Prendre $N_{i,Rd}$ égal à la valeur de $N_{i,Rd}$ pour un assemblage en K ou N d'après le tableau K.16, mais avec t_0 remplacé par t_p pour la ruine de la face de la membrure, la ruine de l'entretoise, et la le poinçonnement par cisaillement uniquement.
Renforcé à l'aide d'une paire de plats latéraux pour éviter la ruine par cisaillement de la membrure.	
	$\ell_p \geq 1{,}5\left(\frac{h_1}{\sin\theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin\theta_2}\right)$ Prendre $N_{i,Rd}$ égal à la valeur de $N_{i,Rd}$ pour un assemblage en K ou N d'après le tableau K.16, mais avec t_0 remplacé par (t_0 + t_p) pour la ruine par cisaillement de la membrure uniquement.
Renforcé à l'aide d'un plat de séparation entre les barres de treillis en raison d'un recouvrement insuffisant.	
	$t_p \geq 2\,t_1$ et $2\,t_2$ Prendre $N_{i,Rd}$ égal à la valeur de $N_{i,Rd}$ pour un assemblage en K ou N d'après le tableau K.16 avec λ_{ov} < 80 %, mais avec b_j , t_j et f_{yj} remplacés par b_p , t_p et f_{yp} dans l'expression de $b_{e,ov}$ donnée dans le tableau K.14.

K.7.3 Noeuds multiplans

(1) Dans chaque plan approprié d'un noeud multiplan, il convient de satisfaire les critères de calcul donnés en K.7.2 en utilisant les résistances de calcul réduites obtenues d'après (2).

(2) Il convient de déterminer les résistances de calcul pour chaque plan d'un noeud multiplan en appliquant le facteur correctif μ approprié donné dans le tableau K.23 à la résistance du noeud plan correspondant calculée au moyen de K.7.2.

Tableau K.23 : Facteur correctif pour noeuds multiplans

Type de noeud	Facteur correctif μ
Noeud en TT	$60° \leq \phi \leq 90°$
	$\mu = 0{,}9$
Noeud en XX	
	$\mu = 0{,}9\ (1 + 0{,}33\ N_{2,Sd} / N_{1,Sd})$ en tenant compte du signe de $N_{1,Sd}$ et de $N_{2,Sd}$ où $\lvert N_{2,Sd} \rvert \leq \lvert N_{1,Sd} \rvert$
Noeud en KK	$60° \leq \phi \leq 90°$
	$\mu = 0{,}9$ à condition que, dans un noeud de type avec espacement, au niveau de la section 1-1, la membrure satisfasse : $\left[\frac{N_{0,Sd}}{N_{p\ell,0,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{V_{0,Sd}}{V_{p\ell,0,Rd}}\right]^2 \leq 1{,}0$

K.8 Noeuds soudés avec barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en profils en I ou H

(1) À condition que la géométrie des noeuds soit dans le domaine de validité donné dans le tableau K.24, il convient de déterminer les résistances de calcul des noeuds à l'aide des expressions données dans le tableau K.25 ou dans le tableau K.26 selon le cas.

Tableau K.24 : Domaine de validité pour les noeuds soudés avec barres de treillis en CHS ou RHS et membrures en profils en I ou H

Type de noeud	Paramètres de noeud [i = 1 ou 2, j = barre de treillis recouverte]					
	d_w / t_w	b_i / t_i et h_i / t_i ou d_i / t_i		h_i / b_i	B_0 / t_0	b_i / b_j
		Compression	Traction			
X	$\frac{d_w}{t_w} \le 1{,}2\sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}$ et $d_w \le 400$ mm	$\frac{h_i}{t_i} \le 1{,}1\sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$	$\frac{h_i}{t_i} \le 35$	≥ 0,5 mais ≤ 2,0	$\frac{b_0}{t_0} \le 0{,}75\sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}$	-
T ou Y	$\frac{d_w}{t_w} \le 1{,}5\sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}$ et $d_w \le 400$ mm	$\frac{b_i}{t_i} \le 1{,}1\sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$	$\frac{b_i}{t_i} \le 35$	1,0		-
K avec espacement N avec espacement						
K avec recouvrement N avec recouvrement		$\frac{d_i}{t_i} \le 1{,}5\sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$	$\frac{d_i}{t_i} \le 50$	≥ 0,5 mais ≤ 2,0		≥ 0,75

(2) Pour les noeuds se situant dans le domaine de validité donné dans le tableau K.24, il convient de ne prendre en compte que les critères de calcul couverts par le tableau approprié. Il convient que la résistance de calcul d'un noeud soit prise égale à la plus faible valeur pour tous les critères applicables.

(3) Pour les noeuds se situant hors du domaine de validité donné dans le tableau K.24, il convient de prendre en compte tous les critères donnés en K.4. En outre, il convient de tenir compte des moments secondaires s'exerçant dans les noeuds en raison de leur rigidité de flexion.

(4) Dans les noeuds de treillis soumis uniquement à des efforts axiaux, il convient que l'effort axial de calcul $N_{i,Sd}$ ne dépasse pas la résistance axiale de calcul du noeud soudé $N_{i,Rd}$, déterminée d'après le tableau K.25.

(5) il convient que les noeuds de treillis soumis à une combinaison d'effort axial et de flexion satisfassent :

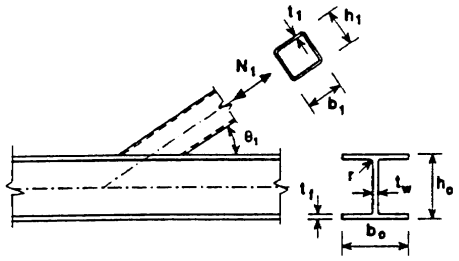
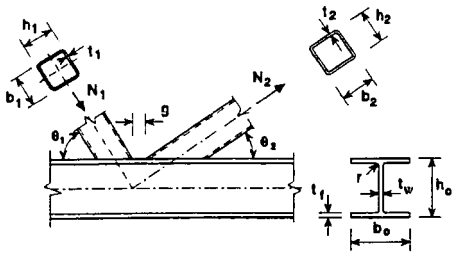
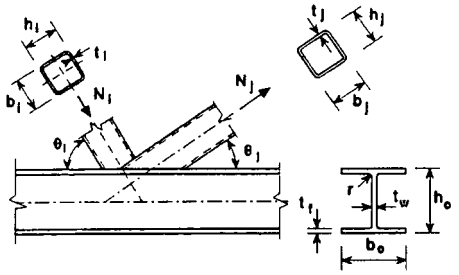
$$\frac{N_{i,Sd}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Sd}}{M_{ip,i,Rd}} \le 1{,}0 \qquad \text{(K.7)}$$

où :

$M_{ip,i,Rd}$: moment résistant de calcul dans le plan;

$M_{ip,i,Sd}$: moment fléchissant de calcul dans le plan.

Tableau K.25 : Résistances de calcul de noeuds soudés avec barres de treillis en RHS ou CHS et membrures en profil en I ou H

Type de noeud	Résistance de calcul	
Noeuds en T, Y et X	Plastification de l'âme de la membrure	
	$N_{1,Rd} = \dfrac{f_{y,0} t_w b_w}{\sin\theta_1}\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$	
	Ruine de l'entretoise	
	$N_{1,Rd} = 2 f_{y1}\, t_1\, b_{eff}\, [1{,}1 / \gamma_{Mj}]$	
Noeuds en K et N avec espacement [i = 1 ou 2]	Stabilité de l'âme de la membrure	Inutile de vérifier la ruine de barre de treillis si : $g / t_f \leq 20 - 28\beta$ $\beta \leq 1{,}0 - 0{,}03\gamma$ et pour les CHS : $0{,}75 \leq d_1 / d_2 \leq 1{,}33$ ou pour les RHS : $0{,}75 \leq b_1 / b_2 \leq 1{,}33$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0}\, t_w\, b_w}{\sin\theta_i}\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$	
	Ruine de l'entretoise	
	$N_{i,Rd} = 2 f_{yi}\, t_i\, b_{eff}\, [1{,}1 / \gamma_{Mj}]$	
	Cisaillement de la membrure	
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3}\sin\theta_i}\left[1{,}1/\gamma_{Mj}\right]$	
Noeuds en K et N avec recouvrement *)	Ruine de l'entretoise	25 % ≤ λ_{ov} < 50 %
	$N_{i,Rd} = f_{yi}\, t_i\, [b_{eff} + b_{e,ov} + (\lambda_{ov} / 50)\,(2\, h_i - 4 t_i)]\, [1{,}1 / \gamma_{Mj}]$	
	Ruine de l'entretoise	50 % ≤ λ_{ov} < 80 %
	$N_{i,Rd} = f_{yi}\, t_i\, (b_{eff} + b_{e,ov} + 2\, h_i - 4 t_i)\, [1{,}1 / \gamma_{Mj}]$	
	Ruine de l'entretoise	λ_{ov} ≥ 80 %
	$N_{i,Rd} = f_{yi}\, t_i\, (b_i + b_{e,ov} + 2\, h_i - 4 t_i)\, [1{,}1 / \gamma_{Mj}]$	
$A_v = A_0 - (2 - \alpha)\, b_0\, t_f + (t_w + 2r)\, t_f$ Pour une barre de treillis en RHS : $\alpha = \left[\dfrac{1}{1 + \dfrac{4 g^2}{3 t_f^{\,2}}}\right]^{0,5}$ Pour une barre de treillis en CHS : $\alpha = 0$	$b_{eff} = t_w + 2r + 7\,(f_{y0} / f_{yi})\, t_f$ mais $b_{eff} \leq b_i$ $b_{e,ov} = \dfrac{10}{b_j / t_j}\,\dfrac{f_{yj}\, t_j}{f_{yi}\, t_i}\, b_i$ mais $b_{e,ov} \leq b_i$	$b_w = \dfrac{h_i}{\sin\theta_i} + 5\left(t_f + r\right)$ mais $b_w \leq 2 t_i + 10\,(t_f + r)$
Pour les barres de treillis en CHS, multiplier les résistances ci-dessus par $\pi/4$, remplacer b_1 et h_1 par d_1 , et b_2 et h_2 par d_2.		
*) Seule la barre de treillis recouvrante i nécessite une vérification. L'efficacité de la barre de treillis recouverte j (c'est-à-dire la résistance de calcul du noeud divisée par la résistance plastique de calcul de l'entretoise) doit être prise égale à celle de la barre de treillis recouvrante.		

(6) Le moment fléchissant de calcul $M_{i,Sd}$ peut être pris comme la valeur existant à l'intersection de l'axe central de l'entretoise et de la face de la membrure.

(7) il convient d'obtenir le moment résistant de calcul dans le plan $M_{i,Rd}$ d'après le tableau K.26.

(8) Dans un noeud avec espacement, il convient de déterminer la résistance axiale de calcul de la section transversale de membrure $N_{0,Rd}$ en tenant compte de l'effort tranchant transmis entre les barres de treillis par la membrure, en négligeant le moment secondaire associé, de la façon suivante :

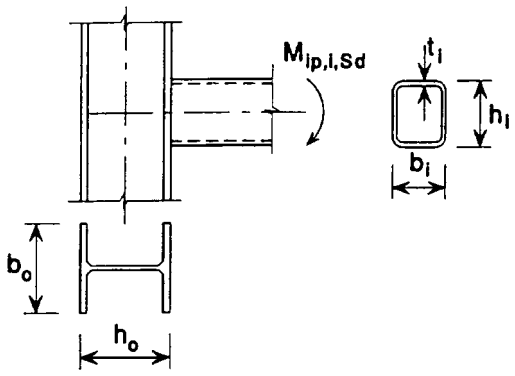
- lorsque $V_{Sd} / V_{pl,Rd} \leq 0,5$:

$$N_{0,Rd} = A_0 \, f_{y0} / \gamma_{M0} \qquad \text{(K.8a)}$$

- lorsque $V_{Sd} / V_{pl,Rd} > 0,5$:

$$N_{0,Rd} = [A_0 - A_v (2 V_{Sd} / V_{pl,Rd} - 1)^2] \, f_{y0} / \gamma_{M0} \qquad \text{(K.8b)}$$

Tableau K.26 : Moments résistants de calcul de noeuds soudés avec barres de treillis en profils creux rectangulaires et membrures en profil en I ou H

Type de noeud	Résistance de calcul [i =1 ou 2, j =barre de treillis recouverte]
Noeuds en T et Y	Plastification de l'âme de membrure
	$M_{ip,i,Rd} = 0,5 \, f_{y0} \, t_w \, b_w \, h_i \quad [1,1 / \gamma_{Mj}]$
	Ruine de l'entretoise
	$M_{ip,i,Rd} = f_{yi} \, t_i \, b_{eff} \, (h_i - t_i) \, [1,1 / \gamma_{Mj}]$
Paramètres b_{eff} et b_w	
$b_{eff} = t_w + 2r + 7 \, (f_{y0} / f_{yi}) \, t_f$ mais $b_{eff} \leq b_i$	$b_w = \dfrac{h_i}{\sin \theta_i} + 5(t_f + r)$ mais $b_w \leq 2t_i + 10 \, (t_f + r)$

K.9 Assemblages boulonnés

(1) Il convient de calculer les assemblages boulonnés dans lesquels les boulons travaillent au cisaillement conformément à 6.5.

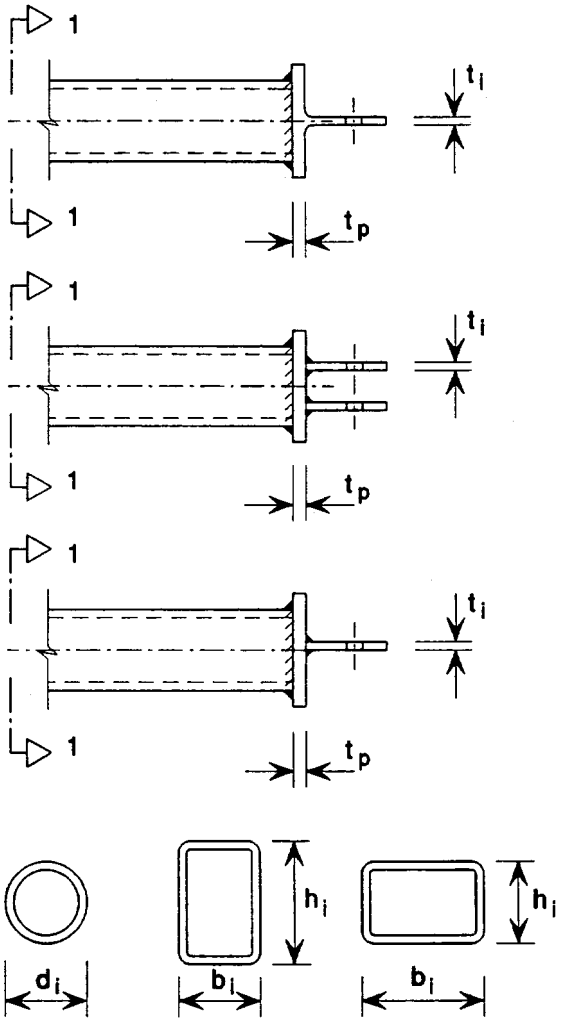
(2) Dans un assemblage d'extrémité en T ou à fourche, voir figure K.10, il convient que l'épaisseur de la plaque d'extrémité t_p satisfasse :

$$t_p \geq (b_i - t_i) / 5 \quad \text{(K.9a)}$$

$$t_p \geq (d_i - t_i) / 5 \quad \text{(K.9b)}$$

$$t_p \geq (h_i - t_i) / 5 \quad \text{(K.9c)}$$

(3) Il ne convient pas d'appliquer les règles d'application données dans l'Annexe J aux assemblages de profils creux de construction sans vérification expérimentale supplémentaire.



Vues alternatives selon 1-1

Figure K.10 : Assemblages d'extrémité en T et à fourche